

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique**

**Université Mohamed Khider – Biskra  
Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie  
Département d'informatique**

# **Cours Réseaux Locaux Industriels**

**Niveau : 5<sup>ème</sup> année ingénieur  
Option : Informatique industrielle**

**Préparé Par :  
Djeffal Abdelhamid**

**Année universitaire 2010-2011**

# SOMMAIRE

<b>Chapitre I : La communication dans un environnement industriel.....</b>	<b>1</b>
1. Introduction .....	1
2. Présentation de l'environnement industriel.....	2
3. Architecture d'un réseau industriel .....	5
4. Caractéristiques d'un RLI .....	6
a. Caractéristiques du trafic.....	8
b. Qualités requises .....	8
c. Services spécifiques .....	9
<b>Chapitre II : Les réseaux locaux industriels.....</b>	<b>10</b>
1. Exigences globales .....	10
a. Architecture OSI et RLI .....	11
2. Aspects physiques .....	14
a. La topologie.....	15
b. Le Support de transmission .....	19
c. Codage adapté .....	22
3. La sous-couche MAC.....	24
a. Contrainte temporelle (déterminisme) .....	24
b. Techniques d'accès adaptées à l'environnement industriel .....	26
4. La sous-couche LLC (Logical Link Control).....	32
a. Les points d'accès au service .....	32
b. Service LLC1 .....	32
c. Service LLC2 .....	33
d. Service LLC3 .....	34
<b>Chapitre III : Le réseau MAP (Manufacturing Automation Protocol) .....</b>	<b>35</b>
1. Introduction .....	35
2. Architecture du réseau M.A.P. ....	35
a. La couche physique .....	37
b. La couche liaison de données .....	38
c. La couche application.....	39
3. Modèles de coopération .....	40
a. Modèle client/serveur .....	40
b. Modèle producteur/consommateurs .....	43
c. Modèle producteurs-distributeur-consommateurs : P/D/C .....	45
<b>Chapitre IV : Les services application .....</b>	<b>49</b>
1. Messagerie industrielle.....	49
2. Modèle MMS .....	50
a. Avantages de MMS .....	52
b. Principe de MMS .....	52
3. Le modèle Client/Serveur.....	53
4. La machine virtuelle de fabrication "VMD" .....	54
5. Les objets.....	57
6. Services MMS .....	59
<b>CHAPITRE V : Les réseaux de terrain .....</b>	<b>69</b>
1. Introduction .....	69
2. Avantages des réseaux de terrain .....	70

3. Classification.....	72
4. Etude de cas:.....	75
a. World FIP (Factory Instrumentation Protocol) .....	75
b. Interbus.....	76
c. Bus CAN (Control Area Network).....	77
d. LonWorks (Local Operating Network Works) .....	78
e. ProfiBus (Process FieldBus) .....	78
<b>Bibliographie.....</b>	<b>80</b>

## LISTE DES FIGURES

Fig 1 – Communication industrielle.....	1
Fig 2 – Les différents niveaux d'abstraction dans un environnement industriel intégré .....	4
Fig 3 – Architecture globale d'un RLI .....	5
Fig 4 – Caractéristiques des différents niveaux d'un RLI.....	7
Fig 5 – La diffusion dans un RLI .....	9
Fig 6 – La concentration dans un RLI.....	9
Fig 7 – Exigences des différents niveaux d'abstraction dans un RLI .....	11
Fig 8 – Couches du modèles OSI.....	12
Fig 9 – Modèle OSI réduit.....	14
Fig 10 – Domaine de collision .....	16
Fig 11 – Extention du domaine de collision avec un répéteur .....	16
Fig 12 – Extension du domaine de collision avec un Hub-.....	17
Fig 13 – Extension du domaine de collision avec un Hub et un répéteur .....	17
Fig 14 – Limitation du domaine de collision par Pont, Commutateur ou Routeur -.....	18
Fig 15 – La fibre optique.....	19
Fig 16 – Exemples des câbles industriels.....	21
Fig 17 – Prises de raccordement industrielles.....	22
Fig 18 – Technique Bit Stuffing.....	23
Fig 19 – Codage Manchester.....	24
Fig 20 – Analyse du délais d'acheminement d'un message dans un réseau .....	25
Fig 21 – Technique Maître esclave .....	26
Fig 22 – Redondance dans la technique maître/esclave.....	26
Fig 23 – Technique à jeton.....	27
Fig 24 – Technique CSMA/CA.....	28
Fig 25 – Schéma d'émission des trames CSMA/DCR.....	29
Fig 26 – Plan de gestion des collisions dans la technique CSMA/DCR .....	30
Fig 27 – Points d'accès au service dans LLC.....	32
Fig 28 – Primitives du service LLC2 .....	33
Fig 29 – Full-MAP et Mini-MAP .....	36
Fig 30 – MAP/EPA .....	36
Fig 31 – Topologie bus hiérarchisé .....	37
Fig 32 – Bus à jeton (IEEE 802.4) .....	38
Fig 33 – Services LLC dans MAP .....	39
Fig 34 – Exemple du modèle client/serveur.....	40
Fig 35 – Hiérarchie d'exécution des tâches selon le modèle client/serveur.....	41
Fig 36 – Schéma requête réponse dans le modèle client/serveur .....	42
Fig 37 – Modèle Producteur/Consommateurs.....	44
Fig 38 – Modèle Producteurs/Distributeur/Consommateur .....	47
Fig 39 – Fonctions des différents niveaux d'un RLI.....	49
Fig 40 – MMS : Lecture et écriture de variables.....	51
Fig 41 – Principe de MMS .....	52
Fig 42 – Interaction client/serveur .....	53
Fig 43 – La VMD.....	55
Fig 44 – Fonction exécutive dans la VMD .....	55
Fig 45 – Où peut se trouver une VMD ? .....	56
Fig 46 – Configuration d'un RLI à l'aide des VMDs .....	57
Fig 47 – Objets d'une VMD.....	58
Fig 48 – Services MMS.....	60

Fig 49 – Différents états d'une instance de programme.....	61
Fig 50 – Gestion des variables .....	62
Fig 51 – Accès aux variables nommées et non nommées dans MMS .....	64
Fig 52 – Service de gestion des listes de variables .....	65
Fig 53 – Les événements dans MMS .....	66
Fig 54 – Les sémaphores à jeton dans MMS .....	67
Fig 55 – Système de contrôle direct .....	70
Fig 56 – Systèmes de contrôle distribué.....	70
Fig 57 – Bus de terrain .....	71
Fig 58 – Boucle de courant 4-20 mA .....	71
Fig 59 – Classification des bus de terrain selon la complexité .....	73
Fig 60 – Classification des bus de terrain selon les fonction .....	74
Fig 61 – Champs d'application des réseaux capteurs/actionneurs .....	74
Fig 62 – Réseau FIP .....	75
Fig 63 – Réseau Interbus .....	76
Fig 64 – Couche liaison de ProfiBus.....	79

## LISTE DES TABLES

Tableau 1 – Caractéristiques des différentes topologies réseaux.....	15
Tableau 2 – Caractéristiques des différents type de supports de transmission .....	19
Tableau 3 – Types des câbles coaxiaux .....	19
Tableau 4 – Différents types de paires torsadées .....	20

# Chapitre I : La communication dans un environnement industriel

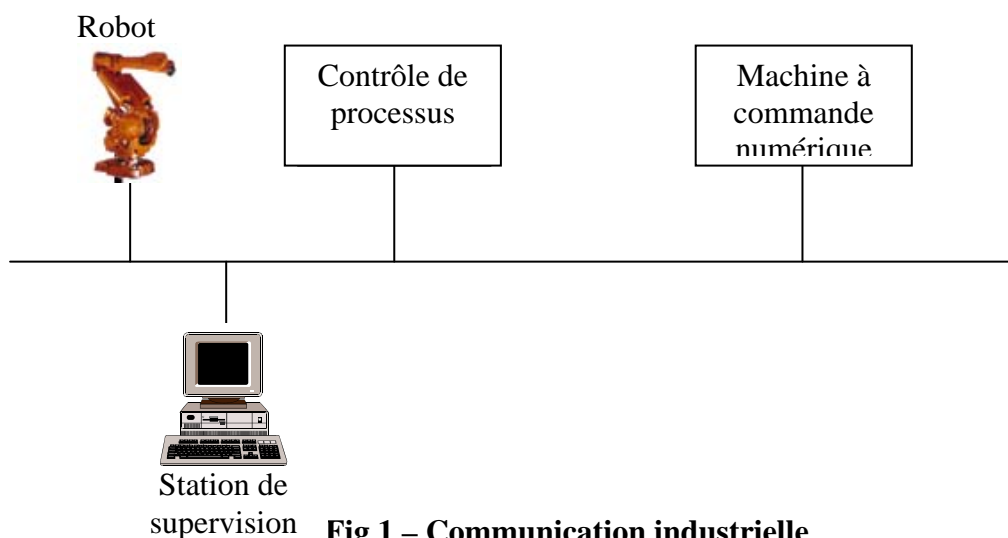
## 1. Introduction

L'histoire des réseaux locaux industriels remonte à la fin des années 70, avec l'apparition des équipements industriels numériques intelligents et des réseaux informatique de bureaux. Leur apparition est venue répondre,

- premièrement, à la demande croissante de productivité dans le domaine industriel par l'automatisation de la communication entre les différents équipements industriels (de contrôle et de mesure) de façon à éliminer les pertes de temps et les risques d'erreurs dus aux interventions humaines,

- deuxièmement, au besoin d'interconnexion des équipements industriels informatisés hétérogènes qui ont été introduits dans le milieu industriel d'une manière anarchique, c'est-à-dire en résolvant chaque problème à part sans prendre en compte l'intégrité de tout le système industriel.

Les réseaux locaux industriels ont été donc 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



**Fig 1 – Communication industrielle**

## 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,
- 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 organisés hiérarchiquement en quatre niveaux d'abstraction :

### **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. 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 assisté par ordinateur,
- Des services de transport,
- Le contrôle de qualité,....

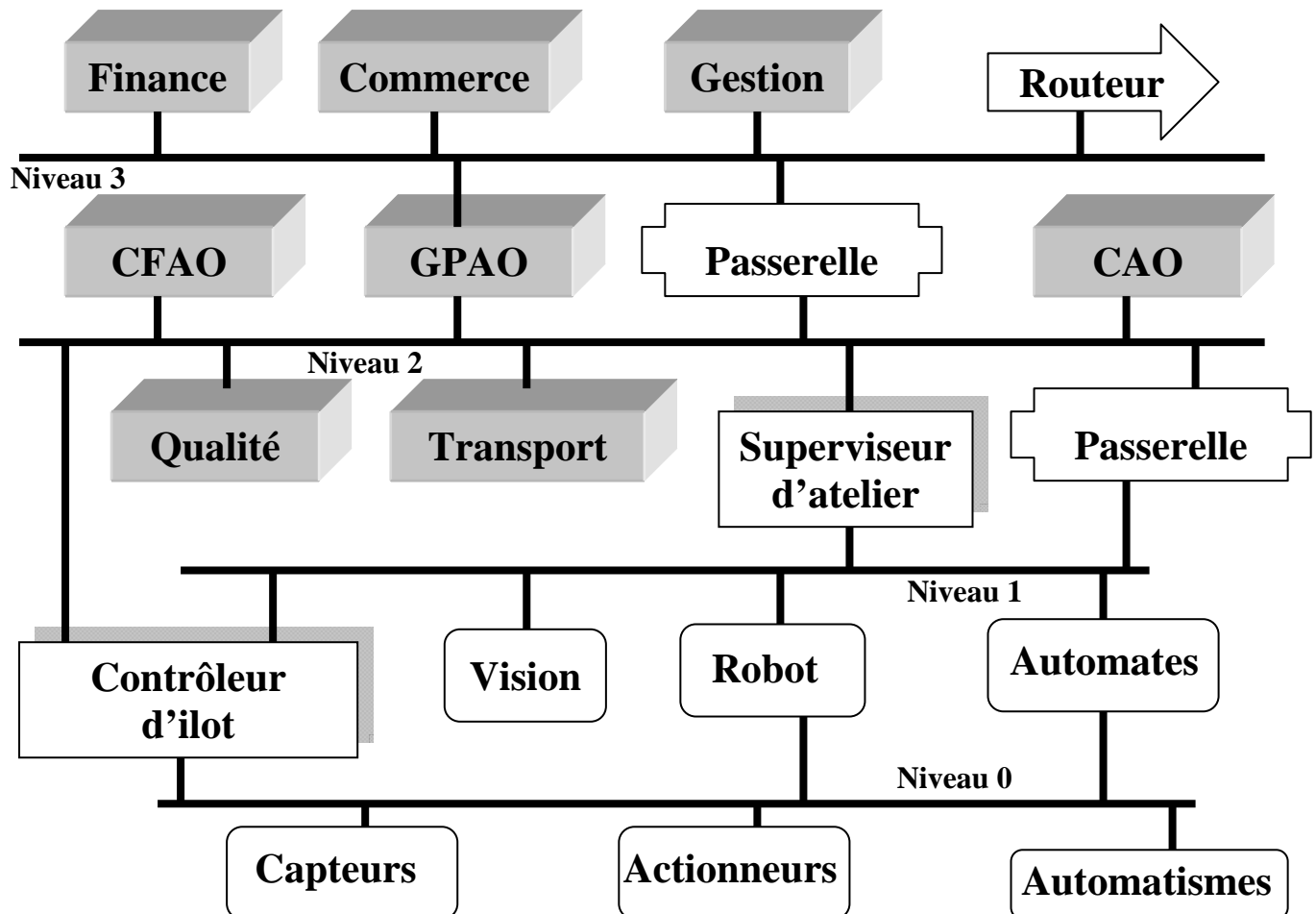
### **3. Le niveau atelier ou cellule (niveau 1)**

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

### **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 2 – 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.

### 3. Architecture d'un réseau industriel

*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.*

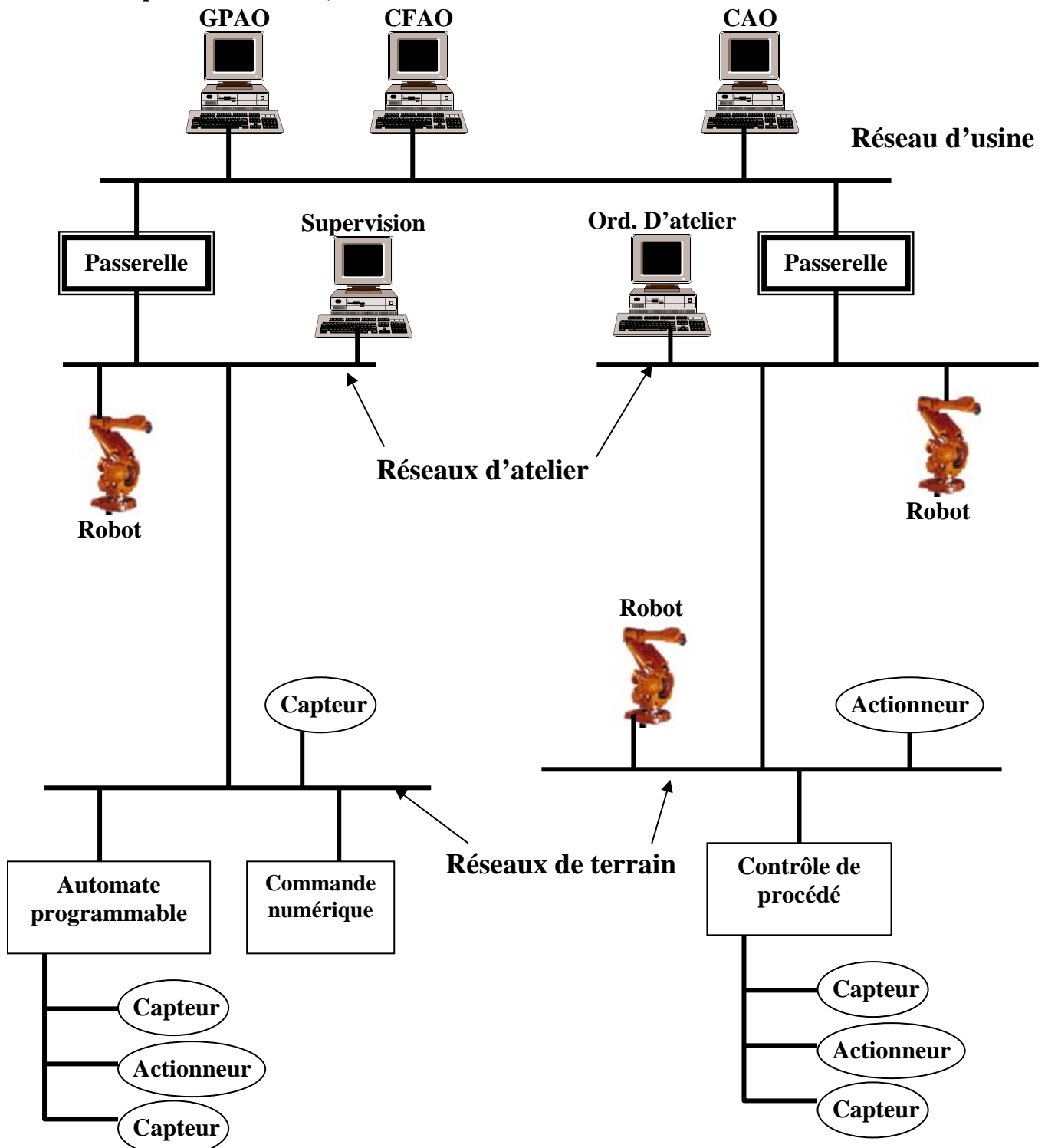


Fig 3 – Architecture globale d'un RLI

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.

#### **4. 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 tel 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.

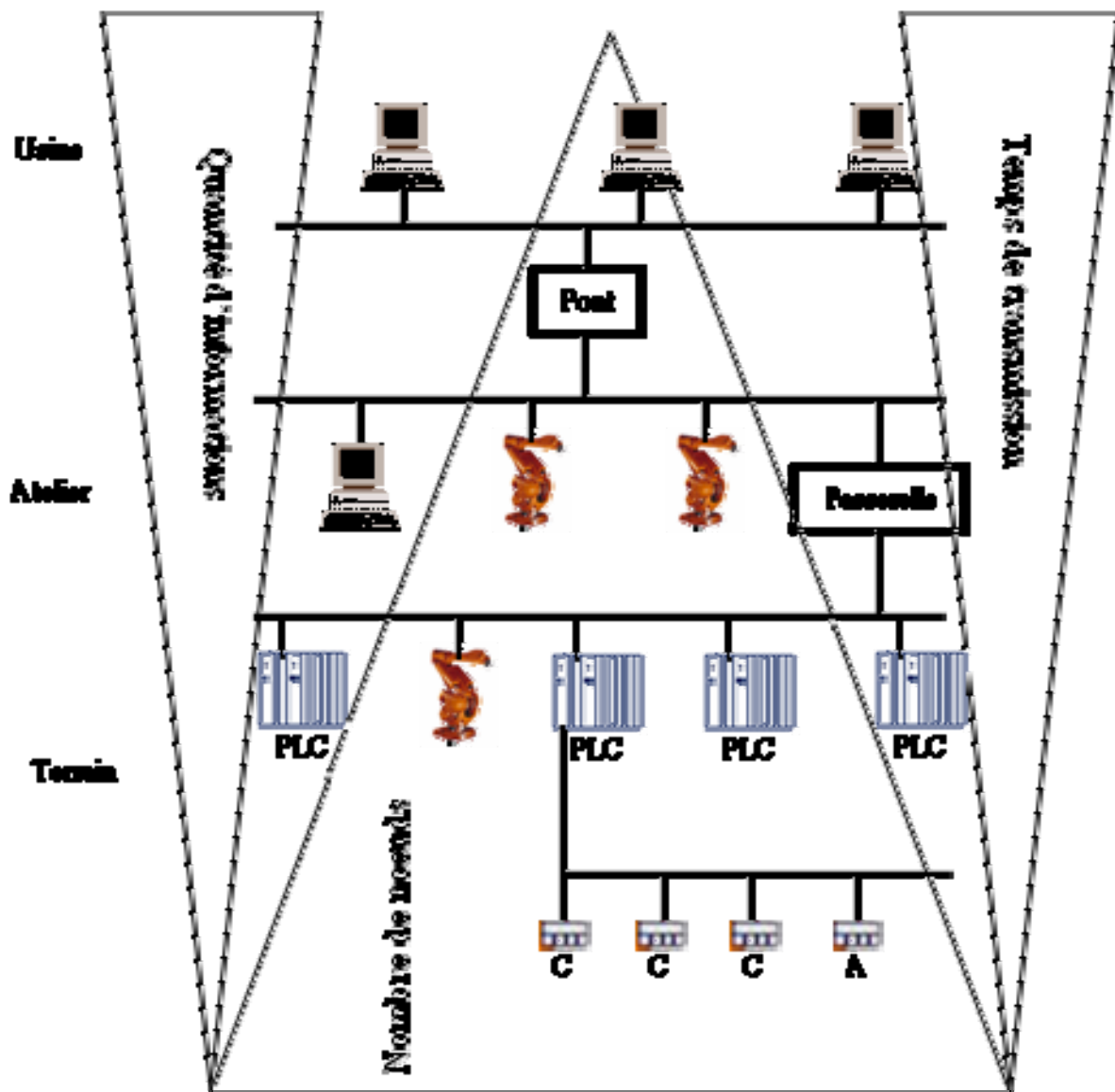


Fig 4 – Caractéristiques des différents niveaux d'un RLI

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.

### a. 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 terme d'urgence de transfert, et selon leurs taille :

#### 1) 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 :

- **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.
- **Non urgents** : tout autre type de message tel que le chargement d'un programme exécutable sur une machine ou le transfert d'un rapport.

#### 2) 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.

### b. Qualités requises

- **Fiabilité** : la plupart des machines industrielles représentent des sources sérieuses de perturbation des communications. On parle même de pollution magnétique dans les environnements industriels, et si on ajoute les risques auxquels sont exposés les moyens de communication dans une usine, on aperçoit rapidement que les messages acheminés nécessitent un très haut

degré de fiabilité pou 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 cas de panne de certains composants. Il faut avoir une bonne tolérance aux pannes et pouvoir reprendre certaines activités après les anomalies.

### c. 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 peut être simultanée c-à-d que plusieurs émetteurs doivent pouvoir envoyer vers plusieurs récepteurs en même temps. Le transfert simultané, par exemple, de plusieurs ordres à plusieurs actionneurs.

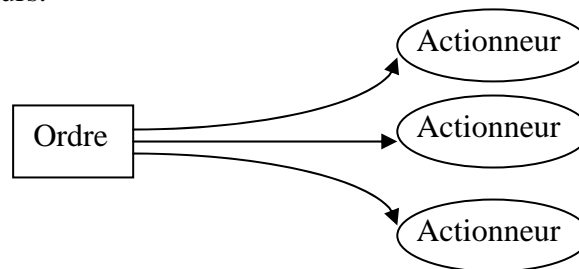


Fig 5 – La diffusion dans un RLI

- **Concentration** : plusieurs équipements peuvent demander la prise en compte en même temps, tel qu'une requête de prise de mesure simultanée de plusieurs capteurs :

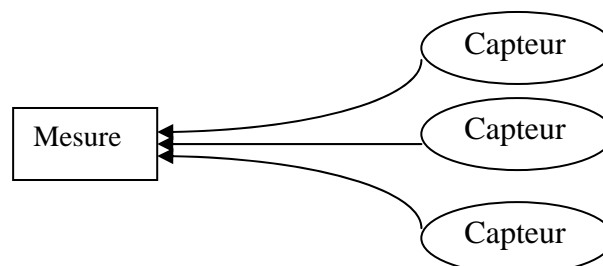


Fig 6 – La concentration dans un RLI

- **Périodicité** : plusieurs traitement peuvent être périodiques tel que le prélèvement périodique des mesures de quelques capteurs (mesures cycliques).

## Chapitre II : Les réseaux locaux industriels

### 1. Exigences globales

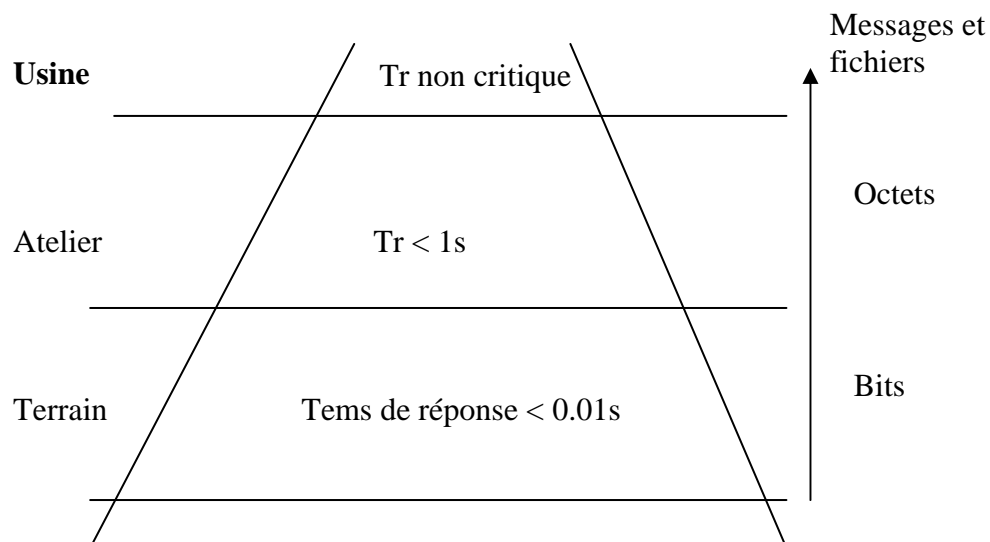
L'environnement industriel où doivent opérer les réseaux locaux industriels a des besoins très particuliers par exemple:

1. Un processus de fabrication nécessite le téléchargement d'un programme sur un automate programmable ; il doit être transmis sans erreur le plus rapidement possible, sans toutefois qu'un léger retard soit trop préjudiciable si le processus physique pendant ce temps est dans un état stable. L'opération n'est pas critique du point de vue temporel, mais elle doit être effectuée sans erreur.
2. Un processus de régulation doit recevoir la valeur d'une mesure toutes les 50 ms, cette valeur peut être erronée une fois de temps en temps, mais pas de manière consécutive, et la période doit être respectée. Les sécurités de transmission porteront non seulement sur la protection contre les erreurs éventuelles, mais aussi sur les instants où les mesures sont produites, transmises, consommées. Dans ces deux exemples, les mécanismes de traitement des erreurs ne seront pas les mêmes ; dans le premier on choisira des acquittements et un contrôle de flux ; dans le second, et en général pour les trafics périodiques, on fera le choix de communication sans acquittement, avec un contrôle de la reprise en cas d'erreur par les processus d'application.
3. Un contrôleur de cellule doit pouvoir gérer les tâches (les activer, les arrêter, leur transmettre des paramètres) sur les commandes numériques, les commandes de robot, les automates programmables. On identifie ainsi des services de niveau application qui devront être disponibles sur les machines concernées.
4. Si plusieurs automates doivent éditer un journal, ou afficher des messages sur une station opérateur, on aura besoin de services de partage de ressources, comme les sémaphores, pour ne pas mélanger les messages.
5. Un processus de supervision doit être averti des dysfonctionnements du processus physique dans des délais raisonnables qui dépendent des constantes de temps des variables physiques. Il faudra pouvoir garantir que des contraintes de temps seront respectées.

6. Dans un processus continu comme un laminoir, les états d'une machine amont devront être transmis à la machine aval (et réciproquement) dans des délais compatibles avec la vitesse de transfert du produit et avec les temps de réaction des machines. Les contraintes de temps sont, ici, encore fonction du processus physique et il faudra pouvoir adapter les protocoles du profil à chaque cas particulier.

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 7 – Exigences des différents niveaux d'abstraction dans un RLI**

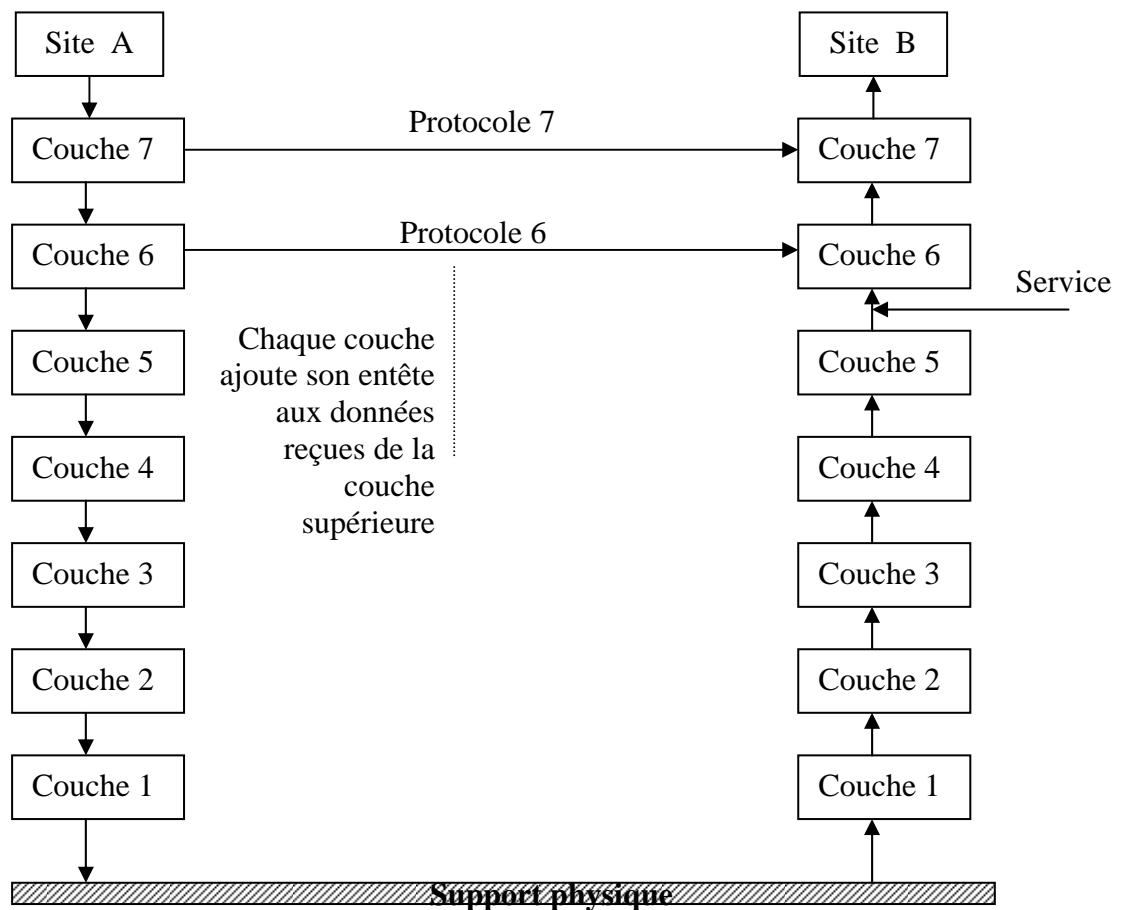
Au niveau des protocoles il faut opter pour les protocoles déterministes qui garantissent la livraison des données dans des délais connus pour pouvoir répondre aux exigences du temps réel.

### a. Architecture OSI et RLI

Le modèle OSI constitue un cadre de référence pour l'interconnexion de systèmes ouverts hétérogènes. Il s'agit d'un modèle pour élaborer des normes d'interconnexion et de coopération de systèmes répartis. Il est construit selon une structure en

sept couches qui correspondent chacune à un type de préoccupation ou à un type de problème à résoudre pour pouvoir communiquer (figure 1). L'idée de base de la structure en couches est, comme dans d'autres domaines, de pouvoir à chaque interface ignorer le plus possible ce qui se passe en dessous.

Le modèle est applicable à toutes les catégories de réseaux. Nous rappelons brièvement le rôle de chaque couche. Tous les détails peuvent être trouvés dans de nombreux ouvrages. Les sept couches initiales du modèle sont rappelées par la figure 1. Les couches 1, 2, 3 et 4 se préoccupent du transport d'informations et masquent aux couches supérieures les problèmes liés à la communication d'informations entre des équipements distants. Les couches 5, 6 et 7 fournissent des services d'accès à la communication pour différents types d'applications.



**Fig 8 – Couches du modèles OSI**

- La couche physique adapte les signaux numériques au support de transmission.
- La couche liaison de données fiabilise les échanges de données entre deux stations.

- La couche réseau assure la recherche d'un chemin et l'acheminement des données entre les stations terminales dans un réseau maillé.
- La couche transport assure le contrôle de bout en bout entre les stations terminales.
- La couche session synchronise et gère les échanges pour le compte de la couche présentation.
- La couche présentation permet d'accepter des syntaxes différentes pour les données échangées entre les couches application.
- La couche application donne aux processus d'application le moyen d'accéder à l'environnement OSI. Elle n'a pas de limite supérieure, c'est-à-dire que l'on peut toujours ajouter des services supplémentaires construits sur des services existant déjà.

Le modèle OSI avec tous ses avantages de complétude et de clarté a montré dès ses premières applications une lourdeur pénible et des temps de réponses assez longs dans les communications industrielle, vu la complexité de quelques couches et l'inutilité de quelques autres.

Des versions réduites sont apparues pour palier ces problèmes, ces versions essayent de ne garder des couches OSI que l'essentiel.

Couche application : que faire des données échangés ?

Couche présentation : mêmes représentations, **inutile**

Couche session : **inutile**

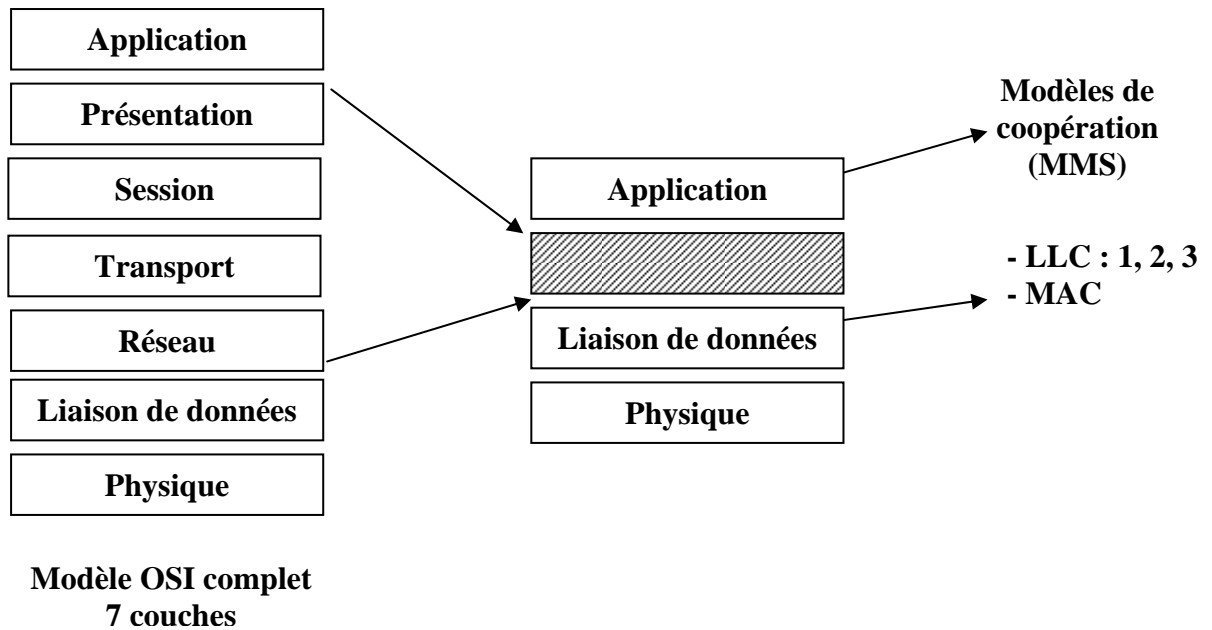
Couche transport : communication directe, **inutile**

Couche réseau : le même réseau, **inutile**

Couche liaison : comment communiquer ?

Couche physique : moyen de communication.

Le modèle OSI réduit ne comporte donc que trois couches : physique, liaison, physique.



Dans La couche application sont implémentés les applications sur les machines, les stations opérateur de contrôle, et les interfaces nécessaires à la communication avec des machines intelligentes et les ordinateurs dans l'usine.

La couche liaison permet de corriger les erreurs de transmission et de fiabiliser la communication à travers les acquittements, trois protocoles sont proposés :

- LLC1 : sans connexion et sans acquittement : par exemple pour les cas des messages courts périodiques.
- LLC2 : avec connexion : lourd pour les communications industrielles.
- LLC3 : sans connexion et avec acquittement, convient par exemple pour les communications temps réel avec un degré de fiabilité important tel que le test de fonctionnement d'un appareil.

## 2. 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 noeuds, alimentation,

- La résistance aux attaques, aux perturbations physiques.

### a. La topologie

Les topologies connues dans les réseaux sont :

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.

**Tableau 1 – Caractéristiques des différentes topologies réseaux**

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 coeur ue 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 oeuvre (un câble pour chaque équipement, de noeud à noeud, etc.).

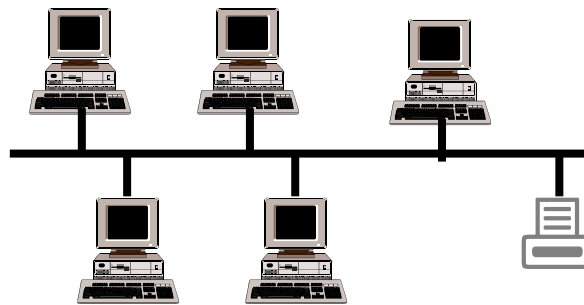
Les industriels préfèrent des topologies en bus ou en anneau. Pour les bus, le coaxial épais (style 10Base5) sera privilégié pour faire face aux perturbations électromagnétiques. Les réseaux en anneau peuvent être mis en oeuvre avec n'importe quel support (cuivre, fibre ou coaxial).

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.

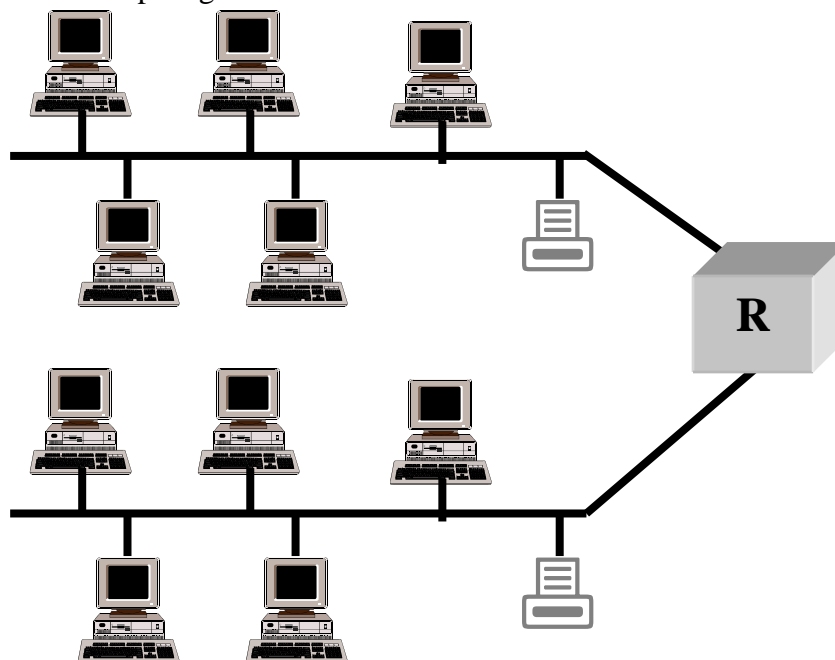
Un problème qui se pose lors de la connexion de plusieurs bus en un seul réseau est le problème des domaines de collision :

Le domaine de collision le plus élémentaire se produit lorsque plusieurs ordinateurs ont accès au même média.

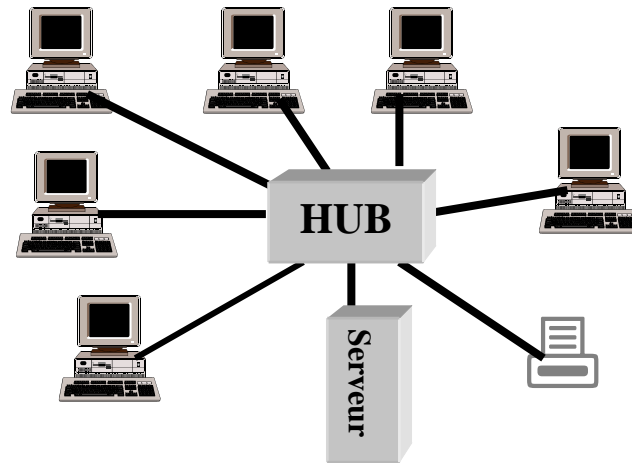


**Fig 10 – Domaine de collision**

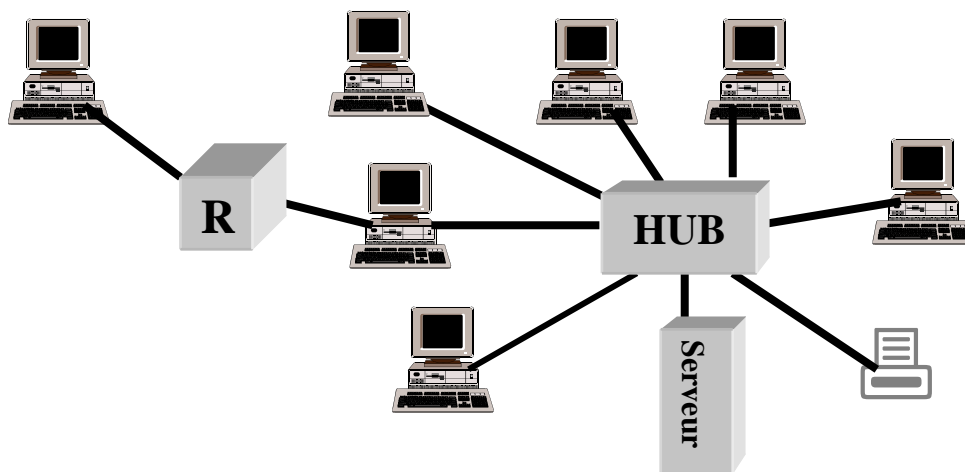
Les répéteurs et les Hubs régénèrent et resynchronisent les signaux, mais ils ne peuvent pas filtrer le flux du trafic qui passe à travers eux. Les données (bits) arrivant à un port d'un répéteur ou d'un Hub sont envoyées à tous les autres ports. Le répéteur et le Hub étendent le domaine de collision, le réseau qui s'étend de tous leurs côtés constitue un domaine de collision encore plus grand.



**Fig 11 – Extension du domaine de collision avec un répéteur**



**Fig 12 – Extension du domaine de collision avec un Hub-**



**Fig 13 – Extension du domaine de collision avec un Hub et un répéteur**

Bien que les répéteurs et les Hubs soient des équipements de réseau utiles et économiques, il n'en demeure pas moins qu'ils étendent les domaines de collision. Si le domaine de collision est trop étendu, il peut provoquer un grand nombre de collisions et diminuer ainsi les performances du réseau. Il est possible de réduire la taille des domaines de collision en les segmentant à l'aide d'équipements de réseau intelligents. Les ponts, les commutateurs et les routeurs sont des exemples d'équipements de réseau intelligents. Ce processus est appelé segmentation.

Un pont élimine le trafic inutile d'un réseau occupé en divisant ce dernier en segments et en filtrant le trafic en fonction de l'adresse de la station. Ainsi, le trafic entre les équipements d'un même segment ne traverse pas le pont et n'a donc pas d'effet sur les autres

segments. Cette technique fonctionne tant que le trafic entre les segments n'est pas trop élevé. Sinon, le pont devient un goulot d'étranglement, ce qui ralentit la vitesse de communication.

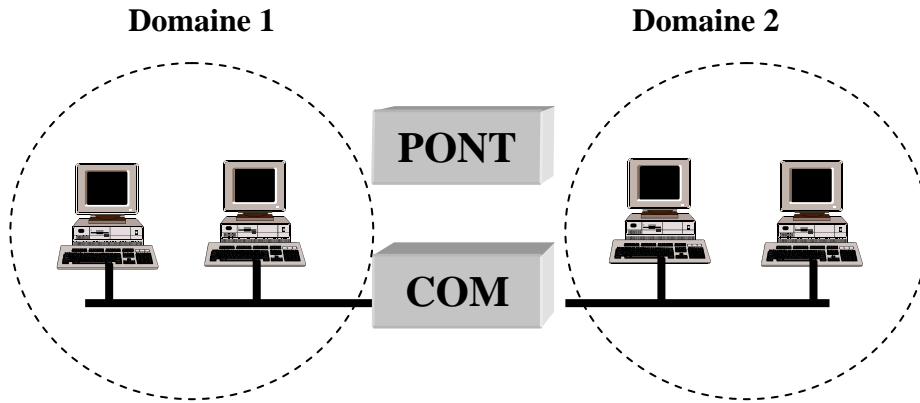
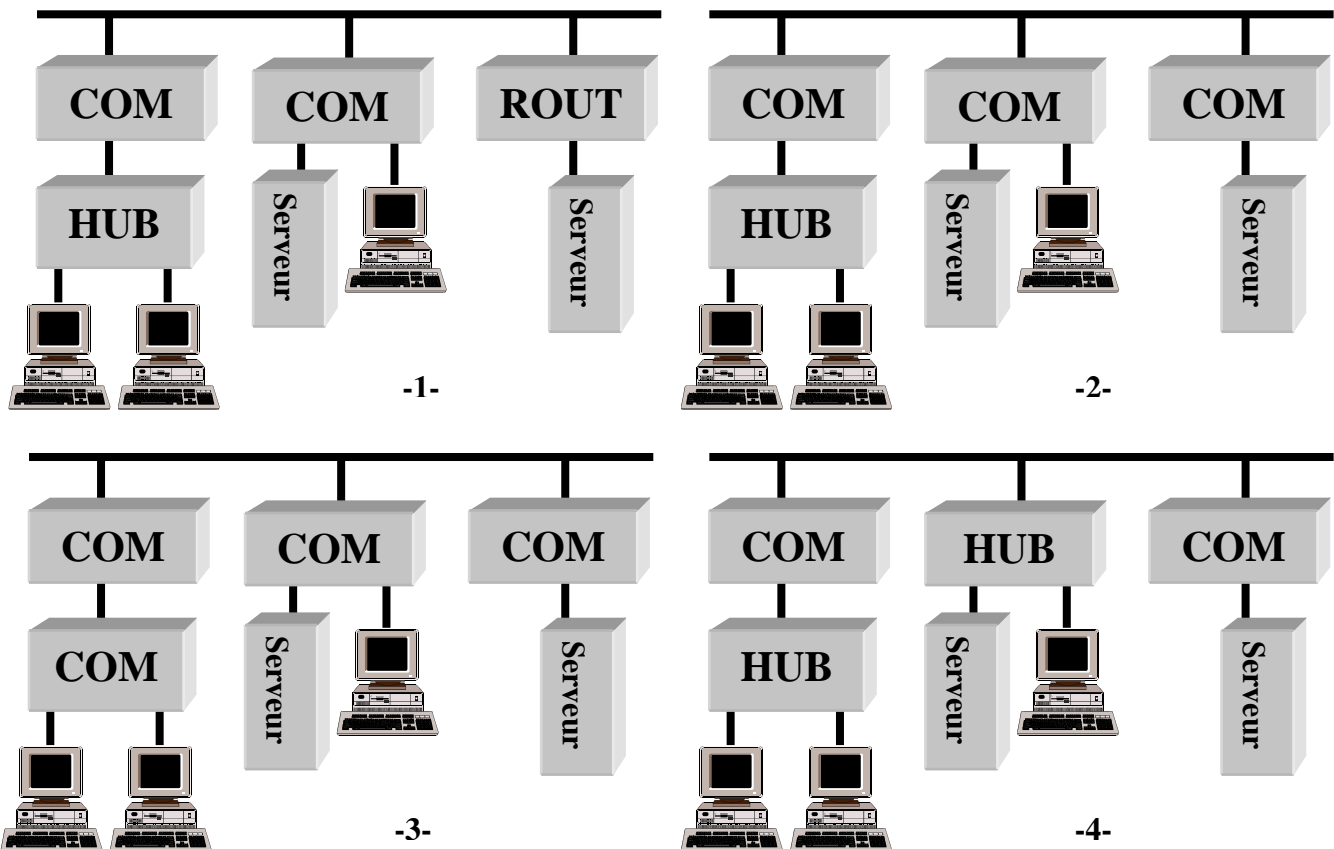


Fig 14 – Limitation du domaine de collision par Pont, Commutateur ou Routeur -

**Exercices :** Combien y a-t-il de domaine de collision dans les 04 réseaux suivants ?





## b. Le Support de transmission

Les supports utilisés peuvent être :

Support	Avantages	Inconvénients
Cuivre	Faible coût	Sensible aux EMI (ElectroMagnetic Interferences)
Fibre optique	- Peu sensible aux EM - Large bande - Peu d'atténuation	Coût élevé.
Sans fil	Mobilité, flexibilité	Très sensible aux EMI.

**Tableau 2 – Caractéristiques des différents type de supports de transmission**

Les liaisons en milieu industriel sont souvent soumises à des perturbations extrêmes. Le choix des composants utilisés et plus particulièrement du support de transmission est donc essentiel. En ambiance perturbée, le coaxial épais peut être envisagé.

Le câble coaxial			
<b>Thin</b>	Câble fin	Lié au protocole 10b2, il n'est presque plus utilisé	
<b>Thick</b>	Câble épais	Lié au standard 10b5, il est peu sensible aux perturbations électromagnétiques	

**Tableau 3 – Types des câbles coaxiaux**





Les réseaux par fibre optique sont utilisés lorsque les champs électromagnétiques perturbent les réseaux conventionnels, lorsque de hauts débits sont nécessaires, lorsqu'une éventuelle étincelle causée par une connexion électrique doit être évitée ou lorsque des données doivent être transportées sur une grande distance.



**Fig 15 – La fibre optique**

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 :

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

**Tableau 4 – 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 16 – 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



**Prise de raccordement RJ45 industrielle**



**Prise de raccordement en fibres**

**Fig 17 – Prises de raccordement industrielles**

### c. 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 le synchronisation.

## 1) 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.

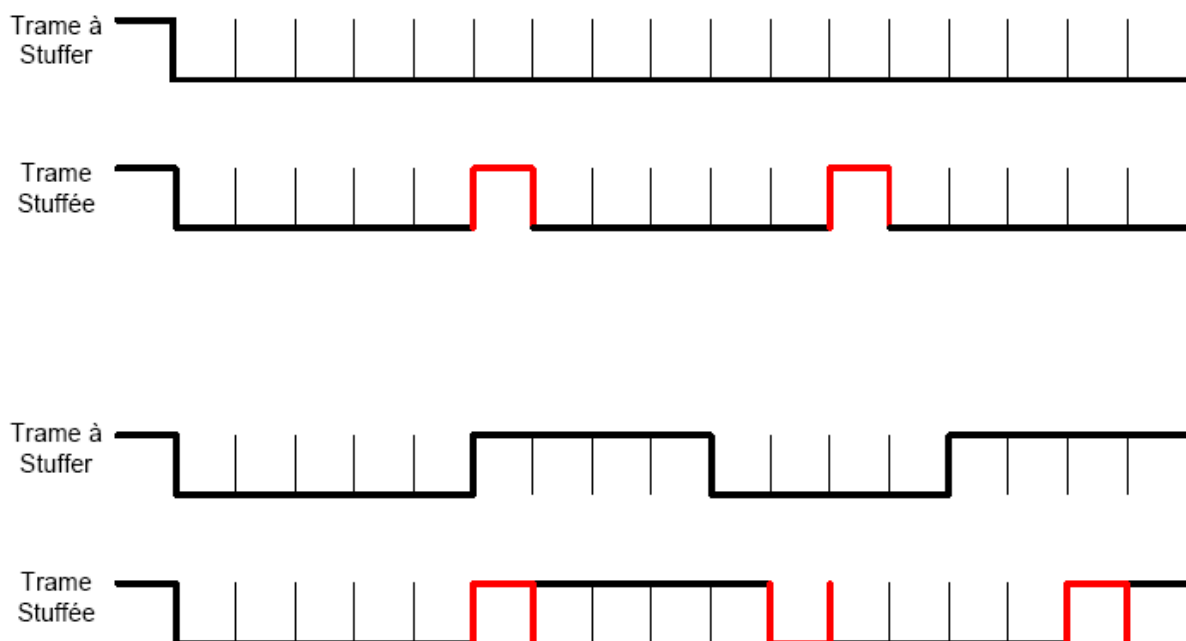


Fig 18 – Technique Bit Stuffing

## 2) 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.

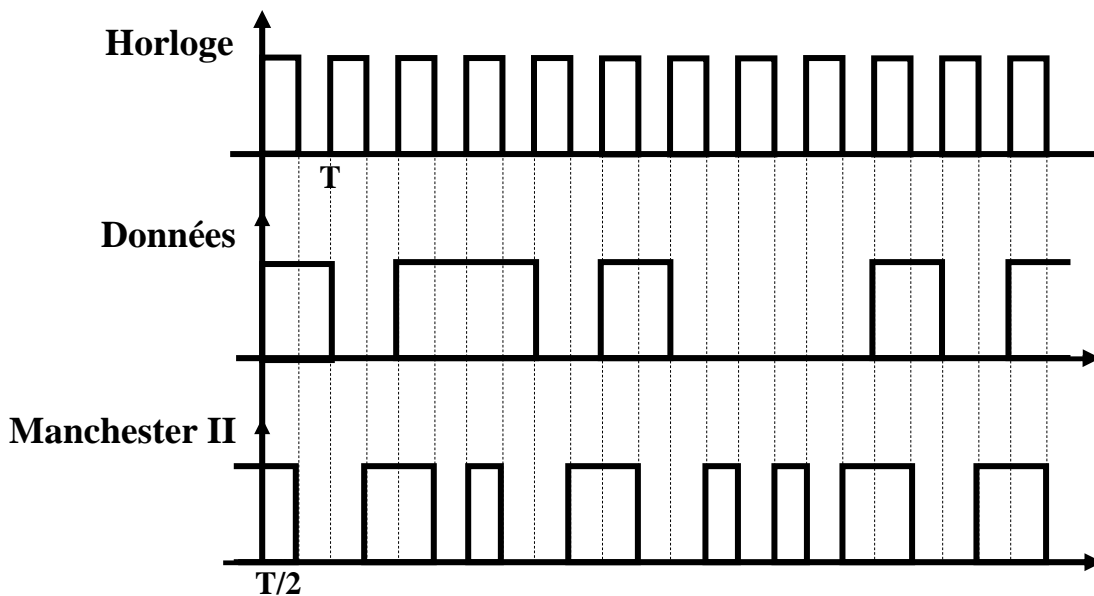


Fig 19 – Codage Manchester

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

### 3. La sous-couche MAC

#### a. Contrainte temporelle (déterminisme)

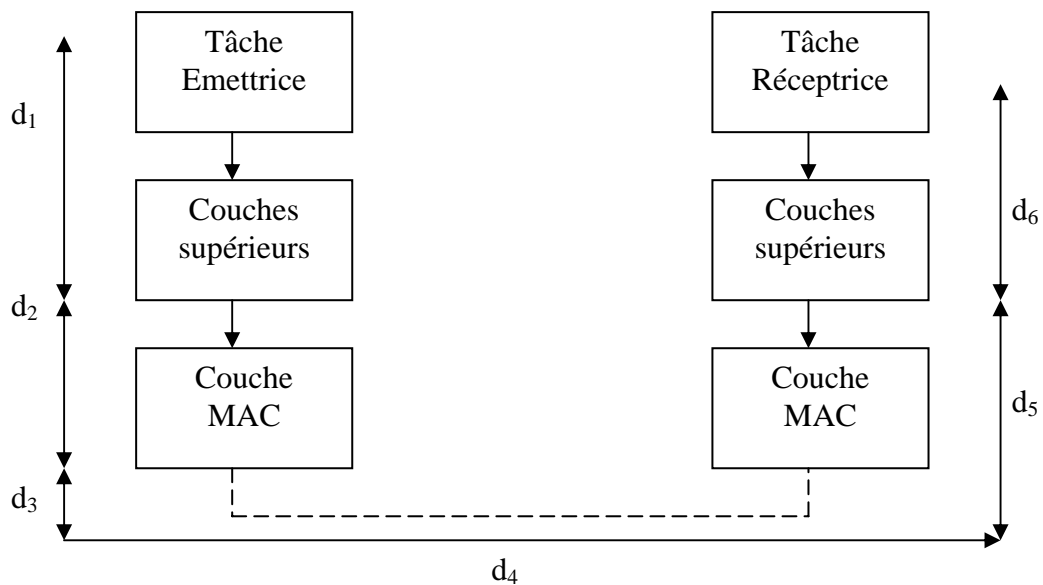
La notion de temps réel dans les réseaux locaux industriels est en fait la capacité de transférer les données en un temps donné et connu.

Le temps réel veut dire qu'au pire,  $n \mu s$  après l'envoi d'un ordre, il doit être arrivé au dispositif traitant ce problème et que  $p \mu s$  après, ces données doivent être traitées et revenir aux différents actionneurs.

Un réseau est dit déterministe lorsqu'il n'y a pas de hasard dans sa méthode d'accès au médium.

Dans le monde industriel, il est impératif de détecter des événements dans un laps de temps suffisant, pour y répondre le plus rapidement possible, il est donc nécessaire de hiérarchiser l'accès des données au réseau, pour y transporter en priorité les informations critiques.

Analysons le temps de transfert des données dans un réseau:



- $d_1$  et  $d_6$  = délais de traversé des couches
- $d_5$  = délais de réception
- $d_1$ ,  $d_5$  et  $d_6$  ==> calcul facile, fixe (borné)
- $d_3$  = délais de transmission sur le médium (variable, calcul facile ==> taille message/débit)
- $d_4$  = délais de propagation (variable, calcul facile ==> longueur du câble /vitesse)
- $d_2$  = délai d'attente pour l'accès au réseau (variable, dépend du protocole d'arbitrage)

**Fig 20 – Analyse du délais d'acheminement d'un message dans un réseau**

La technique d'accès au médium ou le protocole d'arbitrage représente la seule composante qui dérange le déterminisme dans les réseaux industriels.

## b. Techniques d'accès adaptées à l'environnement industriel

### 1. La méthode Maître / Esclave (Polling)

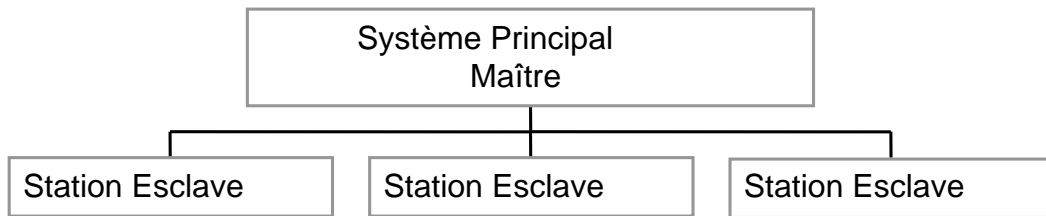


Fig 21 – Technique Maître esclave

- Le maître parle à un moment donné à l'esclave
- L'esclave doit répondre dans un temps donné
- Un esclave n'a pas le droit d'initier un dialogue
- Le maître peut parler à plusieurs esclaves
- Un dialogue entre 2 esclaves passe par le maître
- Le calculateur central cadence les dialogues
- Cohérence absolue des dialogues, pas de collisions
- Déterminisme assuré. temps de dialogues longs

Mais un problème sérieux peut se poser en cas de défaillance du maître, une solution consiste à joindre au réseau un système maître de secours.

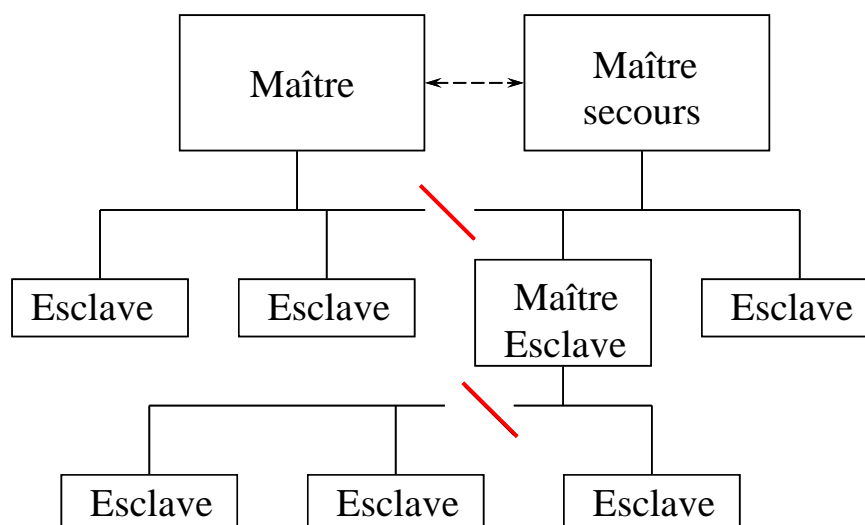
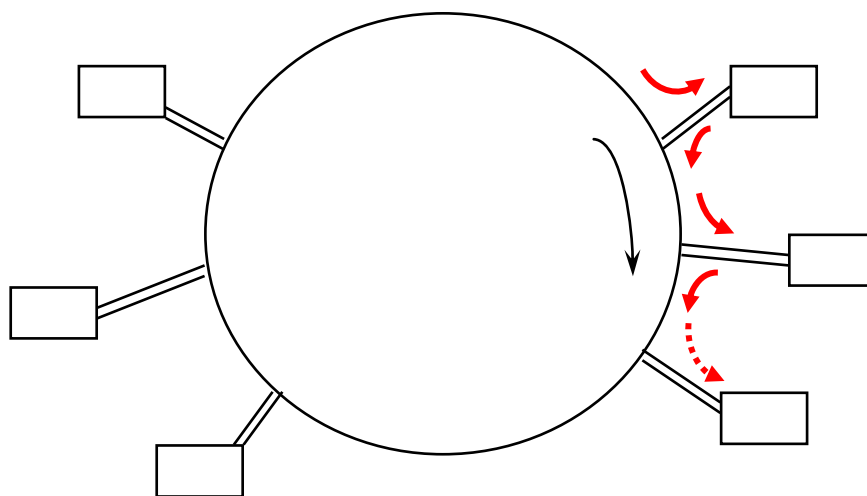


Fig 22 – Redondance dans la technique maître/esclave

## 2. Technique de jeton

Cette technique peut-être utilisé 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



**Fig 23 – Technique à jeton**

Cette technique est déterministe puisqu'on connaît le temps de rotation maximum du jeton, et ce temps est fixe même dans les cas de trafic élevé. Mais le fait de tourner le jeton même sans demande de transmission alourdit la technique.

Un autre point faible de cette technique est sa fragilité dans le cas de défaillance d'une station.

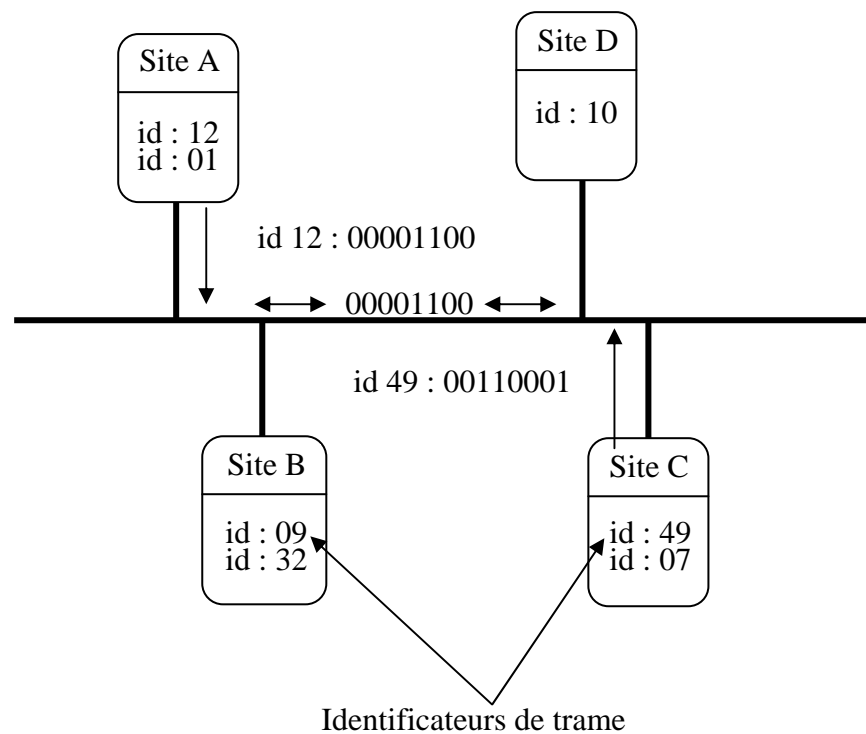
Viennent s'ajouter aussi les problèmes classiques du jeton tels que sa duplication et sa perte.

## 3. Méthode 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.

### Exemple



**Fig 24 – Technique CSMA/CA**

Ce protocole est appelé aussi CSMA / NBA pour (Non-destructive Bitwise Arbitration) puisque la trame de plus haute priorité n'est pas réémise (n'est pas détruite).

#### 4. Méthode CSMA / DCR (Déterministic Collision Resolution)

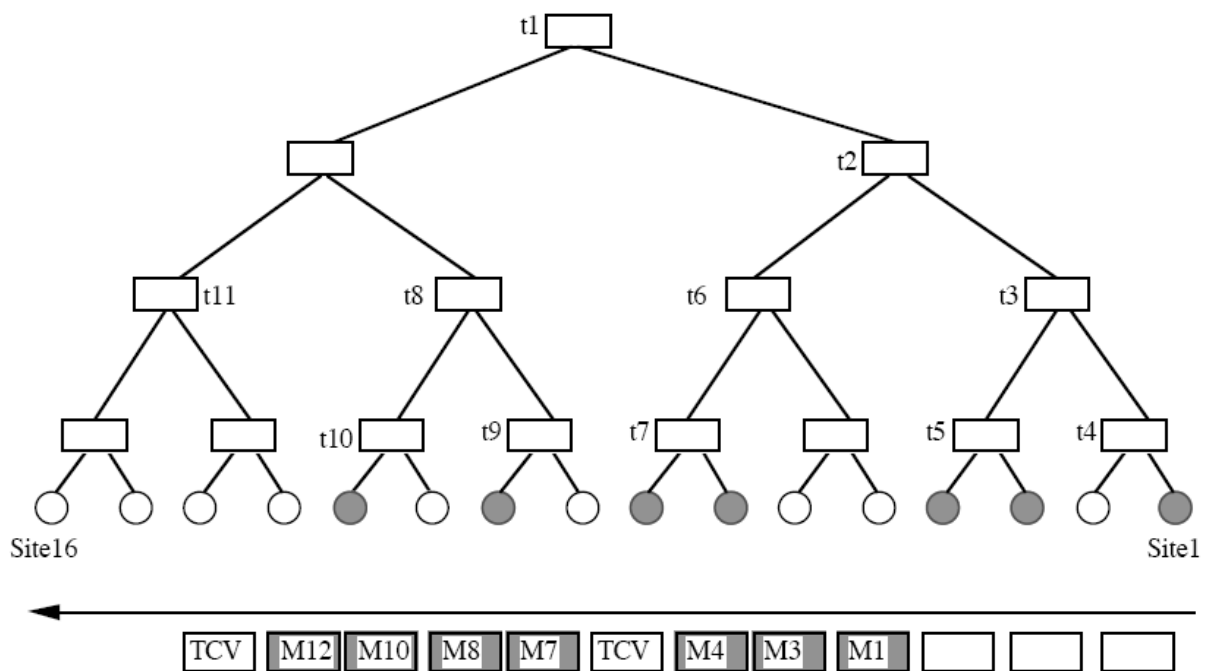
C'est l'évolution du protocole CSMA/CD pour la résolution de la collision d'une façon déterministe, son principe est le suivant :

- 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 ré-émises dans un délai donné.
- Inconvénients : pendant ce temps, les autres stations n'ont pas accès au médium.

**Exemple** : Soit un bus composé de 16 sites et une collision se produit entre tous les sites

Après collision, un site ne réémet que si il fait partie du groupe prioritaire (prédéterminé). Le traitement se fait sur tous les sites car on ne connaît l'origine de la collision.



**Fig 25 – Schéma d'émission des trames CSMA/DCR**

Le plan de gestion des collisions est le suivant où :

Si : Site n° i

C : Collision

E : Emission

■ : Attente.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
2	C	C	C	C	C	C	C	C								
3	C	C	C	C												
4	C	C														
5	E															
6		E														
7			C	C												
8			E													
9				E												
10					C	C	C	C								
11					C	C										
12					E											
13						E										
14							C	C								
15							E									
16								E								
17									C	C	C	C	C	C	C	C
18									C	C	C	C				
19									C	C						
20									E							
21										E						
22											C	C				
23											E					
24												E				
25													C	C	C	C
26													C	C		
27													E			
28														E		
29															C	C
30															E	
31																E

**Fig 26 – Plan de gestion des collisions dans la technique CSMA/DCR**

Chaque site a donc, en cas de collision, un temps maximum à attendre avant d'émettre sa trame, et le temps global de collision (l'époque) est connu et peut être calculé :

$$\text{Epoque} = \text{TE} * 16 + \text{TC} * 15, \text{Où}$$

TE : temps d'émission d'une trame et TC : temps de détection d'une collision

**Exemple 2**

Prenons maintenant le cas de collision entre 7 sites S1, S3, S4, S7, S8, S10 et S12.

- t1: collision initiale entre S1, S2, S3, S7, S8, S10 et S12. Seuls les sites du premier groupe émettent à nouveau (S1, S3, S4, S7 et S8).
- t2: seconde collision entre S1, S3, S4, S7 et S8.
- t3: les sites S1, S3 et S4 émettent. Collision.
- t4 : S1 est seul dans le nouveau groupe. Il émet.
- t5 : S2 n'a rien à émettre ==> tranche canal vide
- t6: S3 et S4 émettent l'un après l'autre.
- t7: on passe au groupe composé des sites S5 à S8. S5 et S6 n'ont rien à émettre -> tranche canal vide.
- t8: S7 et S8 émettent l'un après l'autre, ...etc

Les tranches de temps vides apparaissent lorsqu'il existe des stations qui n'ont rien à émettre entre deux stations qui ont des trames à émettre.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	
1	C		C	C			C	C		C		C					t1
2	C		C	C			C	C									t2
3	C		C	C													t3
4	E																t4
5																	t5
6																	
7			C	C													t6
8			E														
9				E													
10							C	C									t7
11																	
12																	
13																	
14							C	C									t8
15							E										
16								E									
17										C		C					.
18										C		C					
19										E							
20																	
21																	
22												E					

## 4. La sous-couche LLC (Logical Link Control)

La sous-couche LLC est une entité de la couche liaison, dédiée au service. Elle permet un ensemble de fonctions de services entre la sous couche MAC et la couche application. Son but est de fournir une garantie de livraison des messages, la détection et la reprise sur erreur, puisque l'envoi d'un datagramme ne garantit pas à son émetteur que le ou les destinataires l'on reçu.

### a. Les points d'accès au service

Les SAP (Service Access Point) ou LSAP (LLC SAP) sont des fonctions permettant de créer des accès vis-à-vis la couche application. Chaque fonction est représentée par un point d'accès c-à-d un SAP.

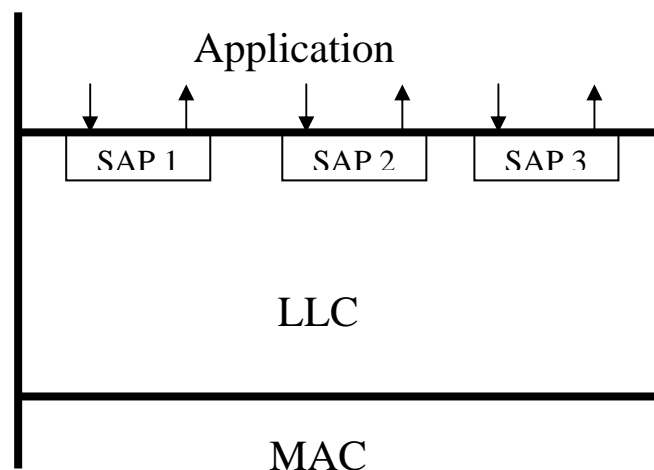


Fig 27 – Points d'accès au service dans LLC

Les SAP ne sont que des points d'accès (des entêtes de fonctions), les corps des fonctions sont définis par trois types de services (qualité):

LLC1 : est le service minimal sans connexion et sans acquittement.

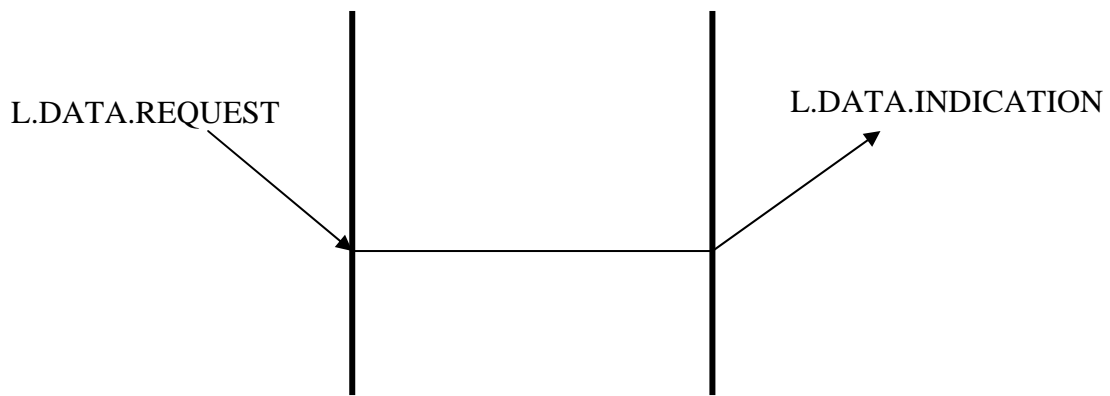
LLC2 : Service avec connexion et avec acquittement.

LLC3 : Service sans connexion et avec acquittement.

### b. Service LLC1

C'est le mode le plus simple de fonctionnement, il permet l'émission et la réception des paquets sans assurer ni le contrôle de flux, ni établissement de connexion logique avec le récepteur, ni même la vérification de bonne réception des données.

Le service ne dispose donc que de deux commandes au niveau de chaque extrémité : L.DATA.REQUEST et L.DATA.INDICATION



Les paramètres utilisés dans les deux commandes sont les suivants :

Adresse locale	Adresse distante	Données	Priorité
----------------	------------------	---------	----------

Dans ce service, la couche application se charge des éléments non traités par la sous-couche LLC, bien sur si elle en a besoin.

Par exemple, dans le cas de diffusion d'une valeur captée par un capteur tous les 50 ms, on aura besoin de ce type de service plutôt que des autres.

### c. Service LLC2

Dans ce service la sous-couche LLC émettrice a une liaison logique avec la sous-couche réceptrice, et elle est chargée de la gestion de cette liaison (établissement, maintient, libération). Le service contient donc un nombre beaucoup plus important de fonctions :

Primitive	Suffixe	Fonction
<b>L.Connect</b>	<b>Request</b>	Demande de connexion
	<b>Indication</b>	Indication d'une demande de connexion
	<b>Confirm</b>	Acquittement d'une demande de connexion
<b>L.Data.Connect</b>	<b>Request</b>	Emission d'un paquet
	<b>Indication</b>	Indication de réception d'un paquet
	<b>Confirm</b>	Acquittement de réception d'un paquet
<b>L.Reset</b>	<b>Request</b>	Demande de réinitialisation de connexion
	<b>Indication</b>	Indication de réinitialisation
	<b>Confirm</b>	Acquittement de réinitialisation
<b>L.Disconnect</b>	<b>Request</b>	Demande de fin de connexion
	<b>Indication</b>	Indication de fin de connexion
	<b>Confirm</b>	Acquittement de fin de connexion
<b>L.ConnectionFlowControl</b>	<b>Request</b>	Demande de définition du format du LSAP
	<b>Indication</b>	Indication de définition du format du LSAP

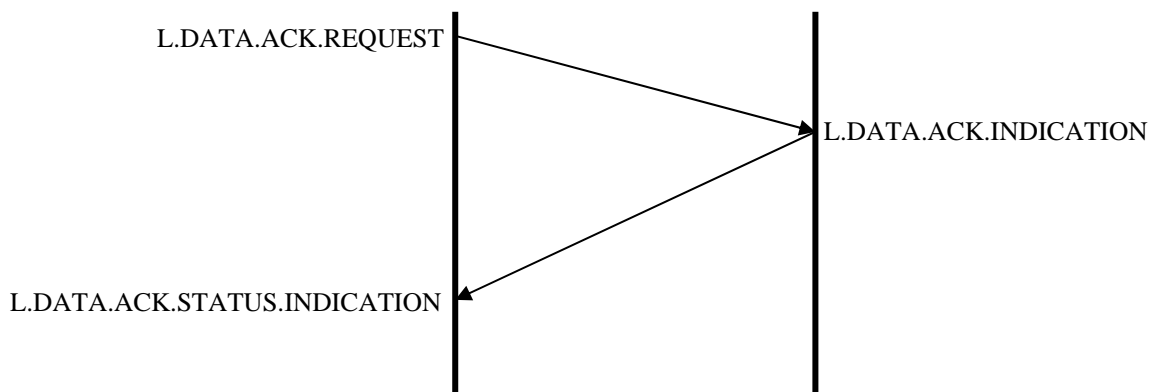
Fig 28 – Primitives du service LLC2

Un exemple de ce type de protocole est le protocole HDLC.

#### d. Service LLC3

Ce type de service est sans connexion mais avec acquittement, il a été conçu initialement pour les applications temps réel, il cherche à améliorer la fiabilité des échanges sans avoir pour autant un coût de gestion difficile à maîtriser.

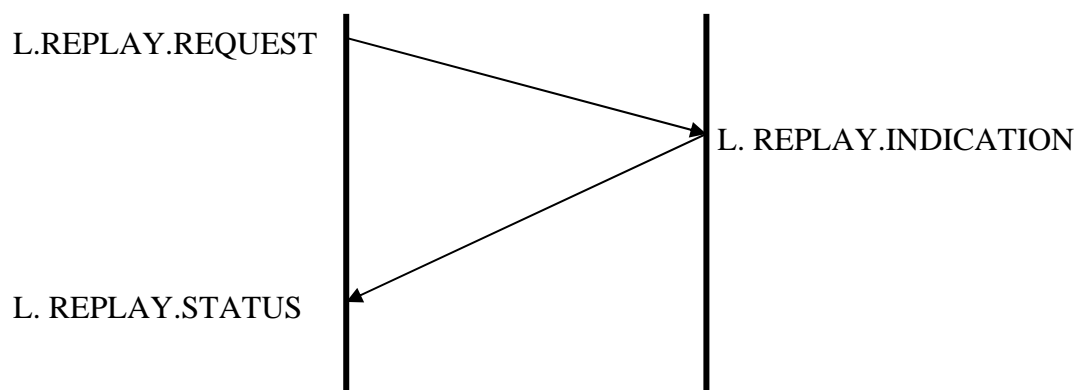
Le service LLC3 est utilisé à travers deux fonctions d'émission et de réception de données avec les mêmes paramètres que dans le protocole LLC1 :



La fonction d'acquittement utilise les paramètres suivants :

Adresse locale	Adresse distante	Priorité	Etat
----------------	------------------	----------	------

Le service LLC de type 3 offre également un service de réponse immédiate qui permet à une station A d'interroger une station B et de lui transmettre des données éventuelles à travers les primitives suivantes :



## Chapitre III : Le réseau MAP (Manufacturing Automation Protocol)

### 1. Introduction

M.A.P. (Manufacturing Automation Protocol) est né dans General Motors au début des années 80 du besoin de compatibilité dans les communications entre des sous-systèmes d'origines variées que l'on rencontre dans les sites industriels.

L'automatisation et la facilité d'échanges d'informations entre les différents services/machines d'une entreprise a d'abord une motivation économique. Elle permet d'atteindre:

- Un meilleur lien entre la conception (C.A.O.) et la réalisation (l'atelier) permettant ainsi de diminuer le temps consacré au cycle de développement.
- Un meilleur suivi/contrôle de fabrication (G.P.A.O.)

Ce réseau a connu depuis sa création plusieurs développements :

- 1980: Première spécification par General Motors.
- 1982: Première version publiée par General Motors.
- 1984: Premier groupe d'utilisateurs, de constructeurs de machines à outils et d'informatique et de développeurs notamment : Chrysler, Ford, Boeing, Kodak, ...
- 1985: M.A.P. 2. Première version commerciale.
- 1985 : Groupe européen des utilisateurs de MAP comportant : BP, British Aerospace, BMW, Fiat, Jaguar, Philips, Renault, Volkswagen, ... etc
- 1988: M.A.P. 3.0

### 2. Architecture du réseau M.A.P.

Les premières versions du réseau MAP (appelées par la suite Full-MAP) ont été conçues selon le modèle OSI pour l'exploiter dans l'industrie. Elles possèdent toutes ses fonctionnalités offertes par ses couches de 1 à 7.



Le fait d'utiliser deux profils différents (full et mini) du protocole MAP, constitue un nouveau profil appelé EPA (Enhanced Performances Architecture).

## a. La couche physique

### 1) Topologie

Dans une optique d'échange globale dans l'entreprise il faut que tous les équipements puissent communiquer entre eux directement. Ceci élimine les structures centralisées telles l'étoile. De même le grand nombre d'équipements élimine des structures de type anneau unique. La structure est donc à base de bus hiérarchisé.

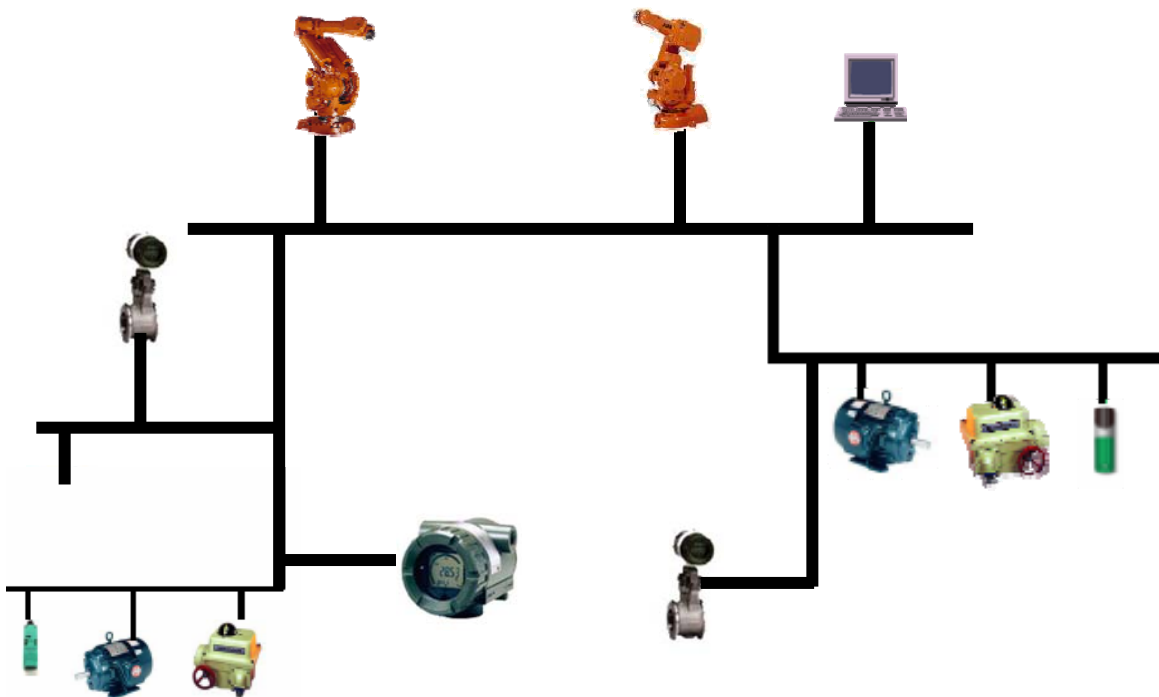


Fig 31 – Topologie bus hiérarchisé

### 2) Câblage

Le réseau M.A.P. a commencé par l'utilisation d'une technologie large bande qui implique l'utilisation de modems. Le médium de transmission est un câble coaxial de distribution T.V. normalisé CATV 75 Ohms. Ce choix a d'abord été dicté par l'historique chez General Motors où ce type de câblage préexistait par l'implantation de réseau de surveillance vidéo. Il se révèle judicieux puisqu'il permet un câblage aisé et peu coûteux. Le full-M.A.P. est une solution large bande avec modulation par transposition de fréquence (F.S.K.). Le débit de 10 Mbits est supporté par un câble coaxial RG6 semi rigide sur une longueur maximale de 3.7 kilomètres.

Les réseaux mini-M.A.P. utilisent un mode de transmission en bande de base sur le même type de médium que M.A.P. Le mini-M.A.P. est une solution en bande de base avec

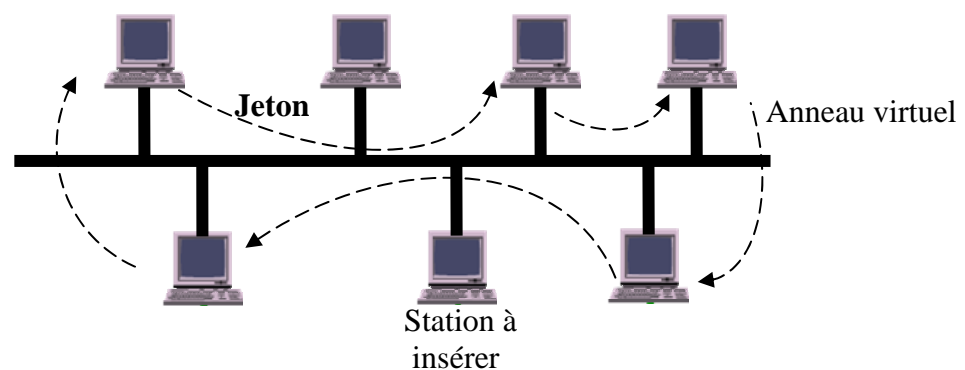
porteuse et modulation par cohérence de phase (A.M-P.S.K.) avec émission et réception sur le même canal et la même fréquence. Le débit de 5 Mbits est supporté par un câble coaxial RG6 rigide ou R.G. 11 flexible sur une longueur maximale de 700 mètres.

## b. La couche liaison de données

### 1) La sous-couche MAC

M.A.P. utilise un bus à jeton I.E.E.E. 802.4. Il est le seul protocole à utiliser cette norme. Cela garantit une borne supérieure du temps de transmission d'un message en temps normal. En effet une station ne peut émettre que pour un intervalle de temps donné et seulement si elle possède le jeton. Donc les collisions sont totalement impossibles. Le jeton passe de station en station selon l'ordre défini par un anneau virtuel au-dessus du bus physique. Un service dupliqué sur chaque station permet la mise en oeuvre de protocoles:

- Réception de jeton.
- Transfert de données.
- Emission de jeton.
- Régénération de jeton en cas de détection de perte.
- Ajout et de retrait de station de l'anneau virtuel.
- Initialisation de l'anneau.
- La sous-couche M.A.C. ( Médium Access Control) offre un service de transfert de données sans connexion entre entités L.L.C. (Logical Link Control).



**Fig 32 – Bus à jeton (IEEE 802.4)**

Les types de trames de gestion de l'anneau sont:

- Demande de jeton (initialisation)
- Sollicitation successeur.
- Désignation de successeur.
- Résolution de conflit
- Jeton.

## 2) Les ponts

Les ponts sont les entités fonctionnelles chargées du filtrage et de l'isolation des sous-réseaux. Les ponts assurent la réception complète des messages avant leur réémission (Store and Forward). Ils permettent de diminuer le nombre de stations par sous-réseau et donc d'abaisser le temps de rotation du jeton sur l'anneau. Remarquons que lors du passage par un/des ponts la propriété assurant un temps maximum pour le délai de transmission n'est plus assuré. Le routage par les ponts utilise la diffusion naturelle. La structure du réseau doit donc être obligatoirement arborescente pour éviter un engorgement dû à la diffusion de multiple fois via des boucles dans des mêmes sous-réseaux. De même pour diminuer le nombre de messages engendré par la diffusion la structure arborescente doit avoir une profondeur maximale de deux. Le pont est transparent pour les utilisateurs de la sous couche M.A.C. (Medium Access Control). En cela le modèle M.A.P. n'est plus conforme au modèle O.S.I. pour lequel le routage s'effectue au niveau M.A.C.. Les réseaux interconnectés doivent donc avoir un même format d'adresse et des longueurs maximales de trame égales.

## 3) La sous-couche LLC

L.L.C.1	Mode datagrammes	Full-M.A.P.
L.L.C.2	Mode connecté	Inutilisé
L.L.C.3	Mode datagrammes acquittés par réponse immédiate	Mini-M.A.P.

Type L.L.C.	Qualcôte	L-p.u.u.		
		Commande	Réponse	Sémantique
1	0x0	UI		Information non-numérotée
	0x10 0x07	XID TST		Echange d'identification Test
3	0x0	UI		Information non-numérotée
	0x6		UA	Acquittement non numéroté
	0x2		FRER	Rejet de trames

Fig 33 – Services LLC dans MAP

## c. La couche application

L'étude de la couche application est abordée au travers de l'un de ses éléments: la messagerie M.M.S.

### 3. Modèles de coopération

Un modèle de coopération représente la manière selon laquelle communiquent les différents processus d'application dans un réseau local industriel. C'est l'une des premières caractéristiques des RLIs, on distingue quatre types de coopération :

#### a. Modèle client/serveur

Deux processus sont en relation : le client et le serveur. Le client émet une demande de service vers le serveur. Le serveur, selon ses possibilités et ses ressources, traite la requête et renvoie la réponse au client. Ce modèle est très général. Une grande diversité de services peut fonctionner selon ce modèle. La plupart des services/protocoles de couche application respectent ce modèle (MMS en est le prototype). La durée totale de l'opération est imprévisible, sauf à faire des hypothèses sur la disponibilité du serveur et du réseau chargé d'acheminer la demande et la réponse.

##### Exemple :

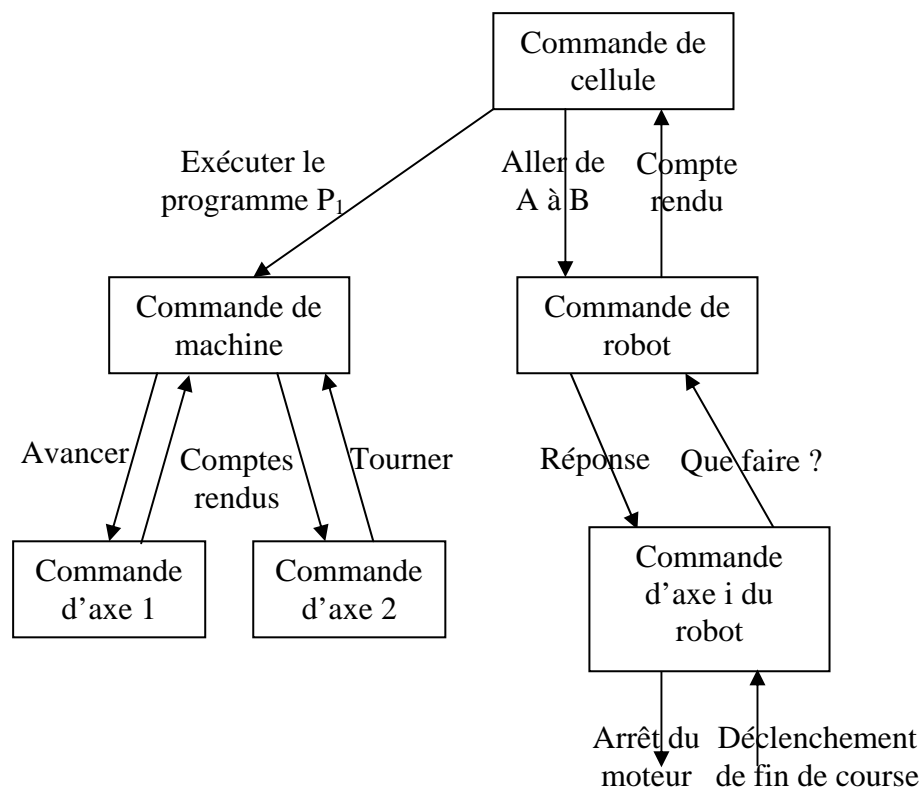
Nous considérons une cellule automatisée composée d'un robot et de deux machines-outils.



**Fig 34 – Exemple du modèle client/serveur**

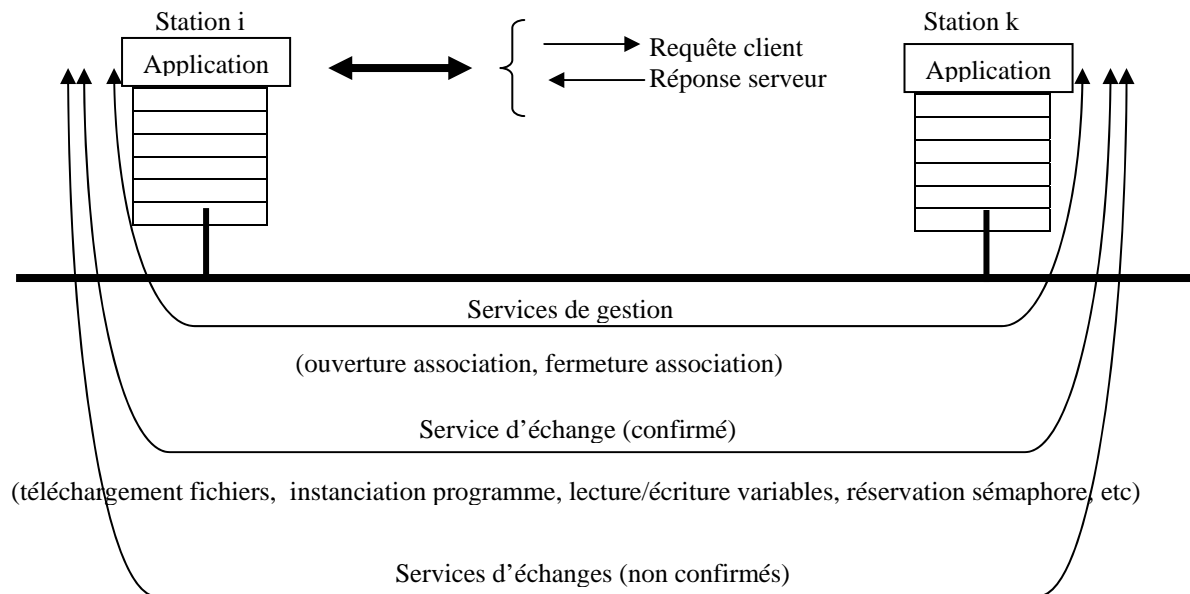
La commande globale de la cellule peut être décomposée en plusieurs niveaux d'abstraction. Le plus élevé est celui de la cellule elle-même, qui représente la fonction de coordination du fonctionnement des machines. Puis on peut identifier le niveau de commande de chaque appareil de la cellule (commande du robot et celle de chaque machine-outil). Ces commandes peuvent à nouveau être décomposées en commandes d'axes du robot et

commandes des machines-outils qui utilisent les capteurs et les actionneurs qui leur sont propres. Chaque niveau dispose d'une certaine autonomie, sous le contrôle des niveaux adjacents. Ce contrôle s'exerce par des demandes de service du niveau supérieur vers le niveau inférieur, auxquelles on associe des comptes rendus de niveau inférieur vers le niveau supérieur. La fonction de coordination envoie un ordre à la commande de robot pour lui demander de prendre une pièce en A pour la poser en B, la commande de robot renvoie un compte rendu quand l'opération est terminée correctement ou non.



**Fig 35 – Hiérarchie d'exécution des tâches selon le modèle client/serveur**

De façon symétrique, une fonction de niveau inférieur peut demander un service à la fonction supérieure en attendant une réponse. Une commande d'axe est dans l'impossibilité d'assurer son service, elle envoie une requête à la commande du robot, qui lui répondra par un ordre ou des paramètres adaptés. Dans le même ordre d'idées, un signal de fin de course envoyé par un capteur est une demande de service auprès de son destinataire qui prendra les dispositions voulues.



**Fig 36 – Schéma requête réponde dans le modèle client/serveur**

### 1) Limites du modèle

Dans ce modèle, le temps n'est pas pris en compte, c'est-à-dire qu'il est impossible d'une part de spécifier un délai maximal pour que le client obtienne la réponse, d'autre part d'avoir un moyen de vérifier que ce délai serait respecté. C'est pourquoi une extension de ce modèle, que l'on pourrait appeler client-serveur temporel, est à l'étude à l'ISO; il s'agit d'associer une contrainte de délai au traitement de la demande et d'offrir, dans le protocole fonctionnant sur ce modèle, les mécanismes adéquats pour indiquer au client si tout s'est bien passé ou non et pourquoi. Indiquons de suite que ce modèle n'est intégré sous une forme générale dans aucune norme de service ou de protocole.

- Si deux clients demandent un même service à un serveur, ce dernier les traitera en séquence, et pourra fournir des réponses différentes à chacun d'eux. Par exemple, deux fonctions ont besoin de lire la mesure d'un capteur de vitesse, elles sont clientes du capteur qui dans ce cas est le serveur. La vitesse peut évoluer entre les deux réponses et cette différence de vue du processus par les deux clients peut nuire au bon fonctionnement du système. C'est pourquoi, si dans un système automatisé deux fonctions (ou plus) ont besoin d'avoir accès aux mêmes objets, le modèle client-serveur n'est pas particulièrement adapté.

- Si un client veut demander simultanément des services à plusieurs serveurs, il ne peut le faire que séquentiellement, ce qui revient à considérer comme simultanés tous les événements intervenant dans l'intervalle de temps nécessaire aux exécutions séquentielles des demandes de service. Un modèle client-multiserveurs a été défini pour certains services. Il faudrait l'étendre avec la possibilité de gestion de contraintes temporelles.

Les modèles producteur-consommateurs et producteurs-distributeur- consommateurs ont été introduits pour pallier ces deux derniers problèmes.

On notera que, si le modèle client-serveur est très général, les autres aujourd'hui ne sont pas définis pour tout type de services mais seulement pour les accès aux données, c'est-à-dire que les seuls services disponibles sont les opérations de lecture et d'écriture. C'est pourquoi ils seront essentiellement présents dans les réseaux de terrain et les réseaux domotiques qui s'en rapprochent. Il est important de noter que l'indisponibilité de ces modèles dans un profil introduit des contraintes sur la répartition des processus d'application coopérants.

## **b. Modèle producteur/consommateurs**

Le modèle producteur/consommateurs est un modèle multipoint dans lequel le producteur d'une donnée peut l'émettre vers tous ceux qui en sont consommateurs. Cette émission peut être, selon le protocole utilisé, en diffusion générale, ou en multipoint. Dans ce cas, deux principales techniques peuvent être mises en oeuvre : chaque consommateur se reconnaît comme abonné sans que le producteur ait à les nommer, ou en spécifiant la liste des abonnés à l'émission. Si l'on sait garantir que chacun recevra la même valeur, on a résolu le problème d'obtention du même résultat par des clients différents (consommateurs). L'initiative de l'émission est laissée au producteur, mais celle de la production peut être confiée à un client parmi les consommateurs qui déclenche l'opération.

### **1) Problèmes du modèle producteur/consommateurs**

Malgré qu'il résout quelques problèmes du modèle client/serveur, il souffre lui aussi de deux problèmes essentiels :

- Alourdir le producteur par les émissions et les demandes.
- Impossible de synchroniser plusieurs producteurs.

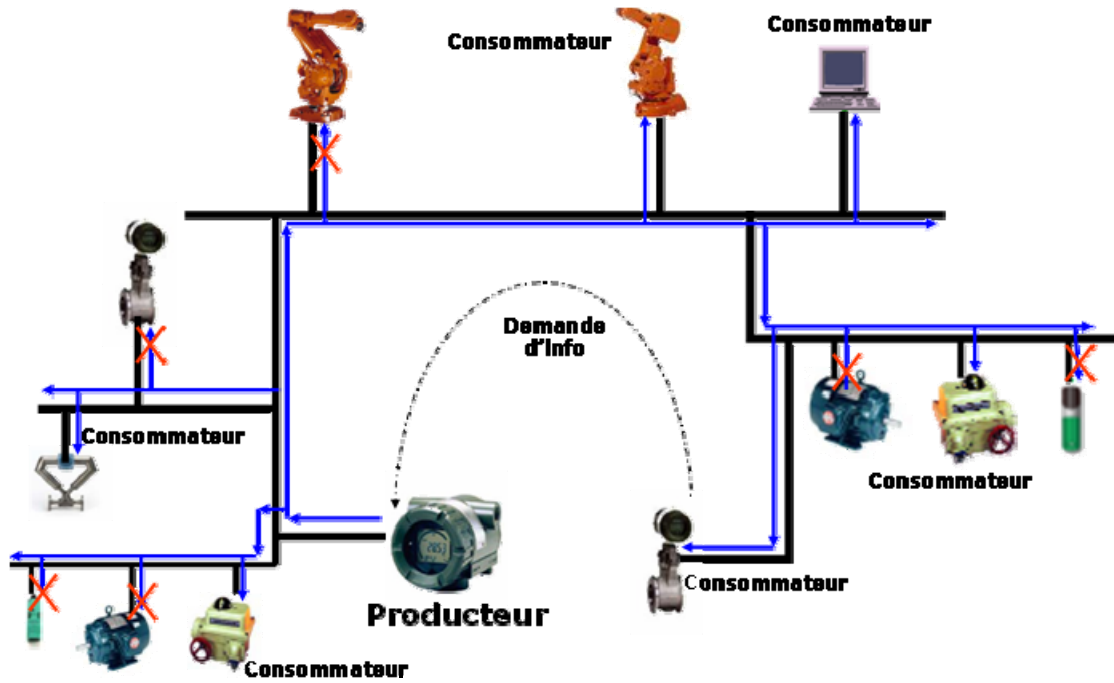
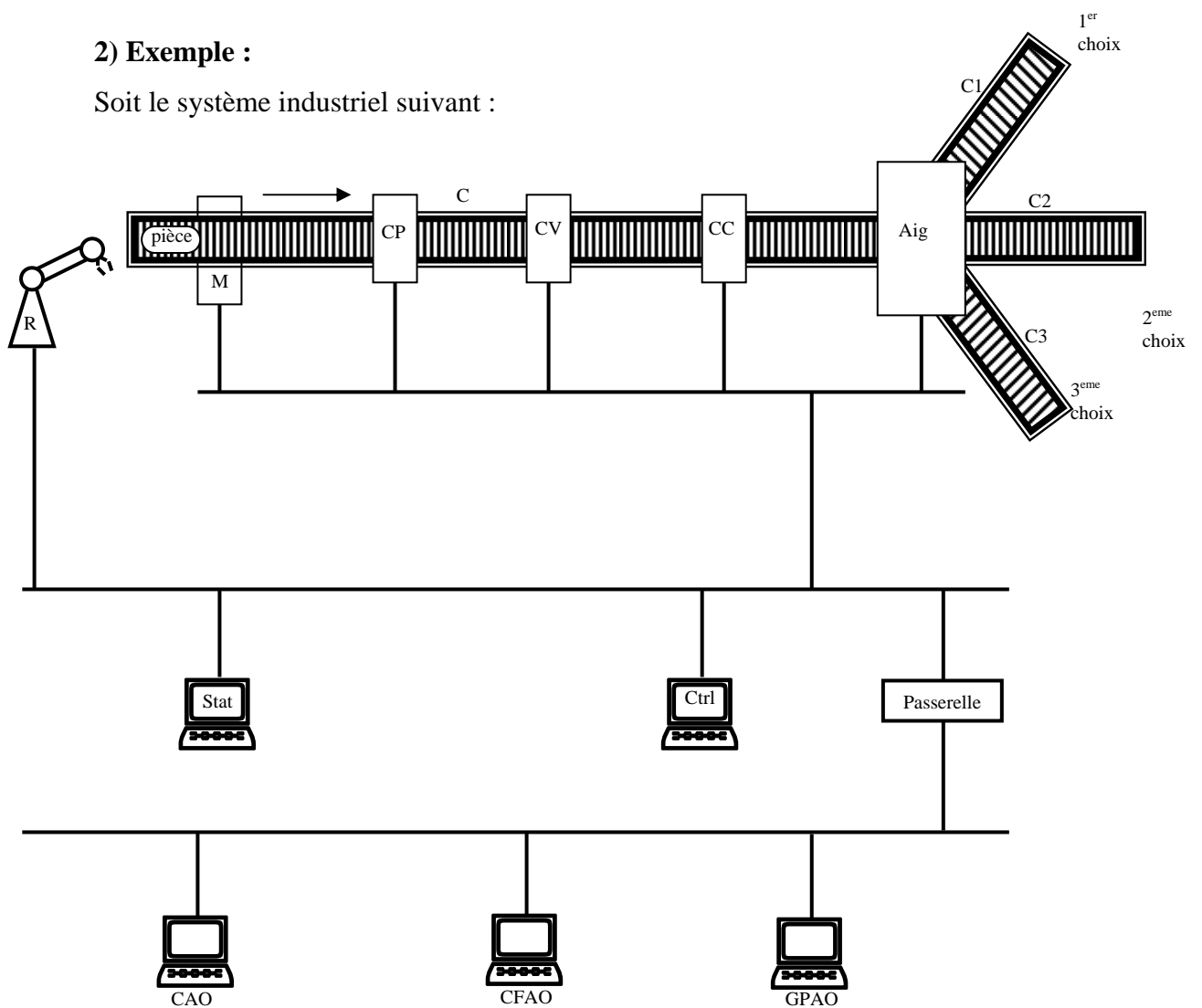


Fig 37 – Modèle Producteur/Consommateurs

2) Exemple :

Soit le système industriel suivant :



Le schéma précédent représente un système industriel de sélection des pièces en trois choix suivant leur qualité, selon les étapes suivantes:

1. La station de contrôle **Ctrl** envoie une commande au robot **R** pour ramener une pièce,
2. Une pièce est amenée par le robot **R** et mise sur le convoyeur **C**, et un compte-rendu est envoyé à la station **Ctrl**.
3. La station **Ctrl** démarre alors le moteur **M**,
4. Le capteur de poids **CP** pèse la pièce et envoie la valeur sur le réseau,
5. Le capteur de volume **CV** mesure son volume et envoie la valeur sur le réseau,
6. Le capteur de couleur **CC** mesure la couleur de la pièce et envoie la valeur sur le réseau,
7. La station de contrôle **Ctrl** reçoit les trois valeurs, les analyse, et envoie une commande au système d'aiguillage pour diriger la pièce vers le bon convoyeur (**C1**, **C2** ou **C3**),
8. La station chargée des statistiques **Stat**, reçoit les valeurs émises par les trois capteurs et les enregistre pour d'éventuelles statistiques

Le modèle qui convient pour ce système est le modèle Producteur/Consommateurs

### c. Modèle producteurs-distributeur-consommateurs : P/D/C

Ce modèle est une extension du précédent pour permettre de maîtriser le temps, en particulier dans la gestion de plusieurs serveurs producteurs de données. Dans ce modèle, l'initiative des émissions et certaines synchronisations sont confiées au distributeur, ce qui permet d'ordonner les échanges de façon à garantir au mieux le respect de certaines contraintes temporelles.

- Le producteur d'une donnée est un processus d'application responsable de la production de la donnée (par exemple, un capteur est producteur d'une mesure, un automate d'une consigne).
- Le distributeur des données est un processus d'application qui est responsable du transfert des données du producteur de chacune d'entre elles à tous ses utilisateurs. Il régit la synchronisation des producteurs, les transferts vers les consommateurs dans l'ordre adéquat pour respecter les contraintes de temps.
- Les utilisateurs des données (les consommateurs) sont des processus d'application qui ont besoin des données pour être exécutés.

Plusieurs idées directrices ont présidé à l'élaboration de ce modèle :

La première est de fournir les services d'échange de valeurs de variables ; les seuls services accessibles selon ce modèle sont l'émission et la réception d'objets (valeurs de

données produites et à consommer). Donc les modèles ne mettront en oeuvre que les concepts d'émetteur et récepteur ou producteur et consommateur. De plus, il s'agit de rendre les objets produits directement accessibles par les services de lecture/écriture (réception/émission) sans avoir à activer un processus d'application. Il sera alors possible de séquencer les échanges sur le réseau sans avoir à tenir compte des comportements des processus d'applications concernés, sous réserve qu'ils indiquent leur état aux récepteurs des données.

La seconde est que la plupart des informations doivent être présentes à des instants prédéfinis chez éventuellement plusieurs consommateurs (aspect multipoint des échanges). Ce n'est donc pas à chacun d'eux de demander l'émission par le producteur. Cette fonction sera celle de la distribution. Cette fonction est encore renforcée par le fait que les activités de plusieurs producteurs doivent pouvoir être synchronisées. Si on appelle transaction de communication l'ensemble des transferts associés à une demande de lecture d'une liste de variables, demande qui peut concerner plusieurs émetteurs, il faut pouvoir ordonner les demandes de transferts élémentaires, d'où la notion de distribuer du réseau FIP.

La troisième est que, dans le modèle client-serveur, en cas d'absence ou de retard de la réponse, le client est sans information sur le serveur. Il s'agit de corriger cela.

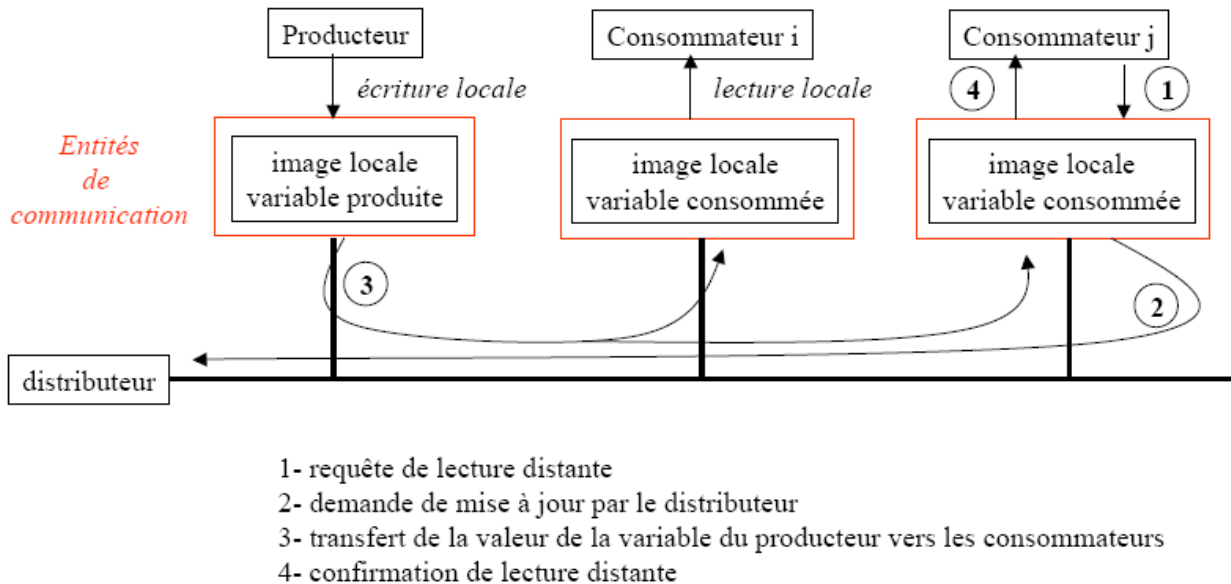
La quatrième idée est que les objets ont une durée de vie limitée et qu'il n'est pas utile de considérer les suites de valeurs comme des éléments de file d'attente. Nous aurons donc des mécanismes avec écrasement d'anciennes valeurs par des nouvelles.

Ce modèle suppose que les valeurs des objets sont accessibles chez les producteurs par le système de communication et que l'on peut donc ignorer le délai d'élaboration de la réponse à une requête par un serveur.

### **1) Principes du modèle PDC**

Trois types de processus cohabitent, les producteurs, le ou les distributeurs et les consommateurs. Un producteur produit localement la valeur d'un objet ; le distributeur déclenche le transfert et la réception, l'opération de recopie, chez les consommateurs, de la valeur originale prise chez le producteur ; les consommateurs utilisent la copie locale de l'objet. Ces processus sont plus ou moins dépendants les uns des autres. Ils peuvent être complètement indépendants, ou être coordonnés de façon étroite, par exemple, produire de façon périodique, transmettre à la même fréquence, et consommer de manière identique, mais toute autre situation peut être définie. Les comportements temporels des divers processus sont définis selon les besoins de l'application.

Dans le cas de protocole FIP (Fieldbus Instrumentation Protocol), des mécanismes de validation temporelle des valeurs d'objets ont été introduits pour permettre aux consommateurs de savoir si les délais impartis au producteur et au distributeur sont ou non respectés. C'est cette notion d'original et de copies qualifiées temporellement de la valeur d'un objet qui fait parfois dire que FIP est un système réparti de gestion de base de données de terrain



**Fig 38 – Modèle Producteurs/Distributeur/Consommateur**

## 2) Comparaison du modèle client-serveur avec le modèle PDC

Pour réaliser un comportement du type client-serveur, il faut définir le serveur comme consommateur et producteur. Il est consommateur d'un objet porteur de la requête, tel qu'à sa réception, le serveur soit activé ; il dépose ensuite le résultat dans l'objet dont il est producteur. Un serveur est donc d'abord consommateur de l'objet requête et producteur du résultat du service. Un client est, de son côté, producteur de la requête et consommateur du résultat.

Il faut toutefois remarquer que le producteur de la requête n'est pas forcément le même que le consommateur du résultat. En outre, plusieurs clients peuvent profiter du résultat. On obtient un comportement du type multiclients-serveur.

Plus généralement, on peut implémenter divers services comme « activer une tâche », « arrêter une tâche », avec ce modèle. Le modèle producteurs-distributeur-consommateurs impose de traduire toute demande de service en un objet particulier ou en la valeur d'un objet. Si l'on assimile les consommateurs à des clients vis-à-vis des objets consommés ou utilisés, le modèle producteurs-distributeur-consommateurs définit la façon dont ces clients seront

alimentés par les producteurs de ces objets sans préjuger des comportements des producteurs et consommateurs. Si l'on désire influencer ou contrôler le comportement d'un producteur ou d'un consommateur, équivalent d'une demande de service, nous devons définir un ou plusieurs objets qui seront consommés par les processus concernés. Le comportement des processus sera alors le résultat de l'interprétation locale de la valeur de l'objet reçu ; en particulier, si l'on désire démarrer/arrêter un processus à distance, ce processus devra être consommateur d'un objet dont la valeur indiquera l'action à mener. Si ce n'est pas ce processus qui est le consommateur, ce sera un ordonnanceur local.

Le producteur de cet objet n'est pas spécifié dans le modèle. Mais l'intérêt est que, si plusieurs processus doivent être démarrés/arrêtés en même temps, comme l'objet en question est transmis selon le modèle producteurs-distributeur-consommateurs lui-même, on peut être sûr qu'en cas de bonne transmission, aux délais de propagation près, les opérations auront lieu en même temps si les ordonnanceurs locaux n'introduisent pas de délais supplémentaires. On peut considérer ce cas comme réaliste, en particulier dans les réseaux de terrain, compte tenu du type de processus implantés sur des capteurs et des actionneurs.

Le modèle producteurs-distributeur-consommateurs peut remplacer le modèle client/serveur quand le distributeur connaît les besoins de tout client potentiel. Le modèle producteurs-distributeur-consommateurs est avantageux par rapport au modèle client/serveur quand un serveur a plusieurs clients simultanés. Si plusieurs entités normalement clientes d'un même serveur doivent profiter du service au même moment pour des raisons de cohérence, le modèle producteurs-distributeur-consommateurs permet de les satisfaire en une seule transaction.

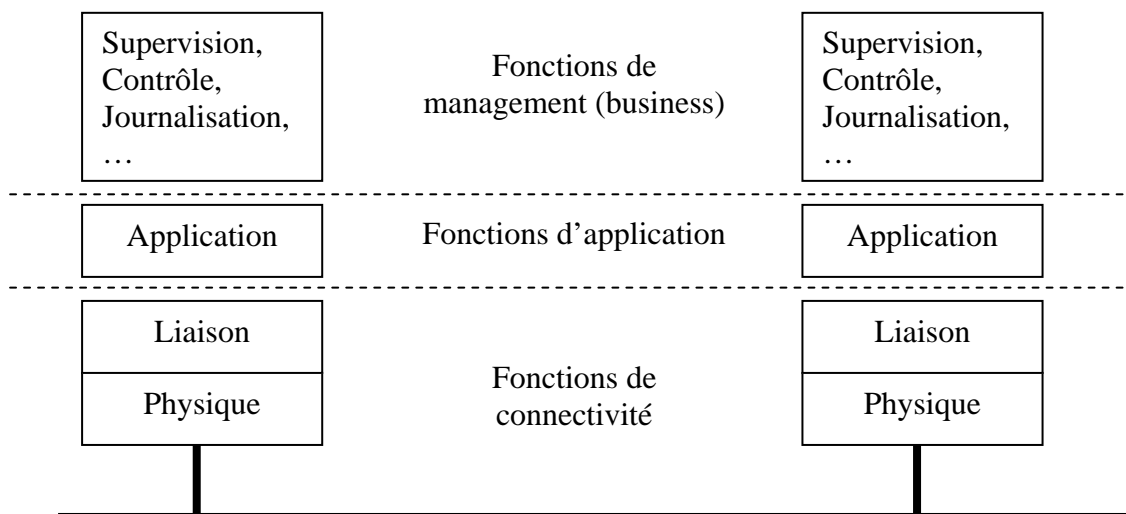
Nous venons d'étudier les différents modèles qui président au fonctionnement des réseaux locaux industriels. Ils ne sont pas exclusifs les uns des autres ; plusieurs modèles peuvent cohabiter dans un même réseau, ce qui se traduit par plusieurs profils dans l'architecture de communication. On rencontrera souvent des réseaux locaux industriels (surtout les réseaux temps réel) à deux profils, l'un dit non temps critique pour des besoins d'échanges classiques comme dans tout réseau, et l'autre adapté à la communication présentant des aspects de criticité temporelle. Mais dans ce cas et avec un seul support de transmission, il ne faut pas oublier que les deux profils se rejoignent au moins au niveau du Medium Access Control qui devra alors tenir compte des contraintes de temps ou des priorités des trames issues des différents processus d'application.

## Chapitre IV : Les services application

### 1. Messagerie industrielle

On veut dire par messagerie industrielle l'ensemble des protocoles d'application utilisés pour contrôler et superviser à distance des équipements industriels hétérogènes par leur origine et par leurs fonctions. Elle fournit des abstractions de base pour modéliser et standardiser des équipements d'informatique industrielle (Commandes Numériques, Robots, Automates Programmables...etc). Ces abstractions représentent un ensemble de blocs fonctionnels dédiés à des services spécifiques : Téléchargement, Journalisation, Fichiers, Evénements... etc.

Pour mieux comprendre l'utilité de la messagerie industrielle, il faut premièrement comprendre la relation entre les fonctions de management (business), d'application et de connectivité du réseau.



**Fig 39 – Fonctions des différents niveaux d'un RLI**

Les fonctions de management ou de business représentent l'outil qui donne valeur à l'entreprise.

Les fonctions d'application fournissent donc une interface standardisée pour les utilisateurs du réseau industriel qui prend en charge les exigences (la fiabilité, le temps réel,...), le matériel (les robots, les automates programmables,...) et les fonctions (téléchargement, lectures des données périodiques,...) de ce réseau.

Le système de messagerie industrielle modélise les équipements industriels et leurs fonctions ainsi que les messages échangés concernant ces équipements, et les processus d'échange de données, sous contraintes de temps réel, entre tous les équipements industriels connectés au réseau et/ou les applications d'ordinateurs.

L'infrastructure de communication (application et connectivité) est construite une seule fois et réutilisée par les fonctions de business, qui seront totalement indépendantes du matériel industriel et du réseau (matériel et protocoles) utilisés.

## 2. Modèle MMS

MMS (Manufacturing Message Specification) est une norme internationale de messagerie industrielle qui a pour ambition d'intégrer les équipements d'un système automatisé de fabrication. Ces équipements peuvent être des automates, des commandes numériques, des robots, des systèmes de contrôle de procédés, et aussi des ordinateurs (PC, stations, ou mini-ordinateurs).

La force de MMS est d'avoir su modéliser les ressources physiques et les fonctionnalités des différents équipements de production sous forme abstraite, et d'avoir structuré les interactions entre eux en terme de services et d'objets, tout en gardant une indépendance de :

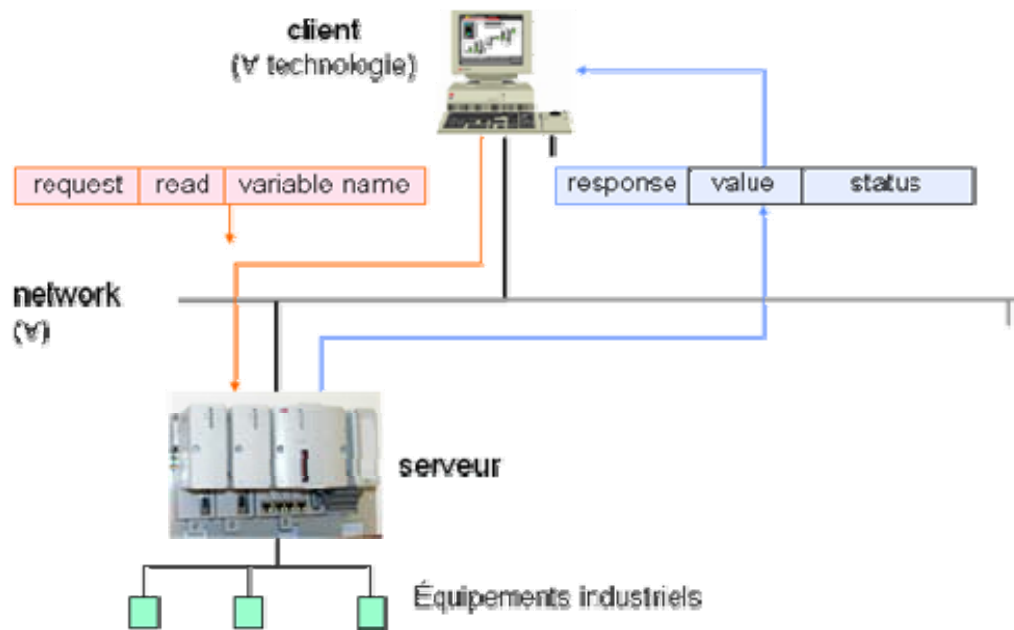
- 1- La nature de l'application visée,
- 2- Le développeur de l'équipement ou de l'application

Cette représentation abstraite ne concerne que les ressources et les fonctionnalités externes, visibles par les autres équipements, dans le cadre de l'exécution d'une fonction commune.

MMS est un standard international (ISO 9506) développé et soutenu par "Technical Committee Numéro 184 (TC184), Industrial Automation", de l'ISO.

Les services de messagerie apportés par MMS sont suffisamment génériques pour être approprié pour une grande variété d'équipement, d'applications et d'industries. Par exemple le service Read de MMS permet à une application ou un appareil de lire une variable d'une autre application ou appareil. Que ce soit l'appareil un PLC, un robot ou autre machine, les messages et les services MMS seront les mêmes.

L'idée de base de MMS est de lire et écrire les variables des équipements en utilisant des messages standards.



**Fig 40 – MMS : Lecture et écriture de variables**

Plusieurs applications industrielles utilisent MMS : traitement des matériaux, gestion de l'énergie, distribution et contrôle de l'énergie électrique, contrôle des inventaires, aerospace, petro-chimie, exploration de l'espace,...etc.

MMS a été développée en 1980 pour le projet MAP de General Motors, mais malheureusement était très liée au modèle OSI et au bus à jeton ce qui a limité son utilisation. Des années plus tard, Boeing a adopté MMS comme TOPs (Technical Office Protocol) sur Ethernet. MMS a passé ensuite pour l'utilisation par les grands industriels tel que Siemens, Schneider, Daimler, ...etc

MMS a été standardisé depuis 1990 comme:

- [1] ISO/IEC 9506-1 (révisé en 2003): Industrial Automation systems - Manufacturing Message Specification -  
Première partie : Définition des Services, elle comporte des définitions pour :
  - La machine virtuelle de fabrication (VMD),
  - Les services (ou messages) échangés entre les nœuds du réseau, et
  - Les attributs et les paramètres associés à la VMD et aux services.
- [2] ISO/IEC 9506-2 (2003): Industrial Automation systems - Manufacturing Message Specification -  
Deuxième Partie: Spécification des protocoles qui définissent les règles de communication :
  - Le séquençement des messages dans le réseau,
  - Le format (ou le codage) de ces messages, et
  - L'interaction de la couche MMS avec les autres couches de communication dans le réseau.

### a. Avantages de MMS

Puisque MMS est un standard international, elle est largement disponible et n'est contrôlé par aucune organisation commerciale. En adoptant MMS on peut avoir plusieurs avantages commerciaux et techniques :

**1) Flexibilité et plus de choix :** la sélection des équipements supportant MMS permet d'éviter de tomber dans le piège d'un seul vendeur. MMS offre l'indépendance du réseau utilisé, ce qui, permet d'augmenter la compétition sur les prix et la qualité que ce soit pour l'implémentation initiale ou pour les futures extensions.

**2) Réduction des coûts:** MMS permet de réduire les coûts globaux durant toute la vie d'un système industriel intégré. Toutes les machines utilisent le même protocole, et par conséquent le temps et le coût nécessaire pour la spécification, la conception ou l'implémentation sont réduits. De la même manière, les coûts de développement et de maintenance des programmes sont réduits puisque les développeurs n'ont à comprendre qu'un seul protocole.

### b. Principe de MMS

MMS spécifie une méthode pour émuler et modéliser les fonctions et les capacités d'une machine programmable et les moyens nécessaires pour la manipulation de ces modèles. L'émulation et le protocole facilitent l'échange des données et des informations de contrôle entre les ordinateurs, les programmes d'application et les machines programmables dans le réseau.

Le schéma conceptuel de MMS est spécifié formellement par trois modèles :

- Le modèle Client/Serveur
- Le modèle VMD (Virtual Manufacturing Device)
- Le modèle Objet

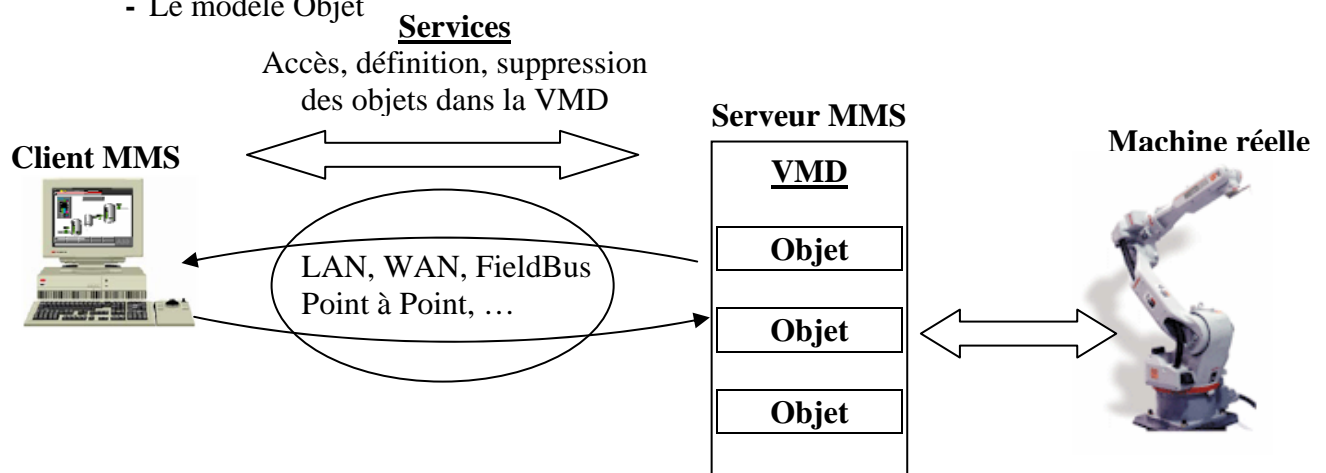


Fig 41 – Principe de MMS

### 3. Le modèle Client/Serveur

MMS modélise l'interaction entre les équipements et les applications connectés au réseau par le modèle Client/Serveur. Le client peut être par exemple un système opérateur ou de supervision, un centre de contrôle ou n'importe quel équipement intelligent qui demande des données ou des actions de la part du serveur. Tandis que le serveur représente un ou plusieurs équipements réels. Le serveur MMS contient les objets que le client peut utiliser, le comportement de ces objets et il exécute les services sur ces objets. Les équipements réels peuvent jouer les deux rôles simultanément client ou serveur.

Dans un sens général, un client est une entité réseau qui demande des services MMS au serveur. Un serveur est une entité réseau qui répond aux demandes de services MMS des clients.

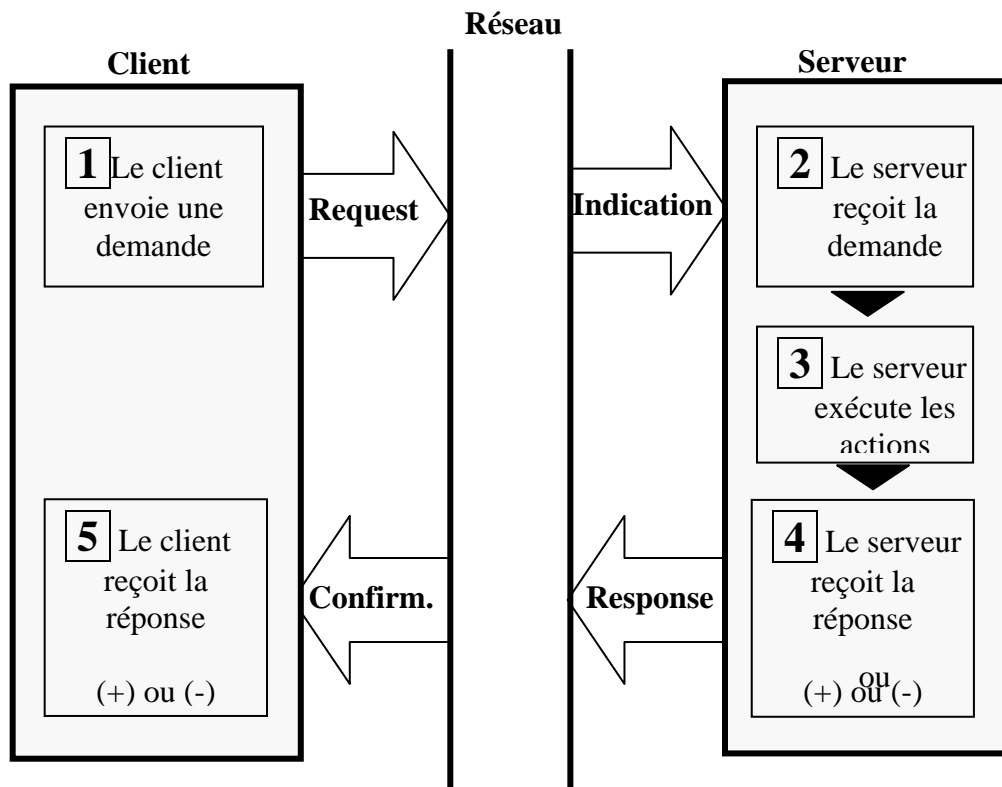


Fig 42 – Interaction client/serveur

En principe dans un système, les équipements installés comme des serveurs, sont plus importants en nombre que ceux qui réalisent les tâches des clients (PC, et stations de travail). Mais en général, la plupart des applications et des équipements fournissent les deux fonctions client et serveur.

Les appels envoyés par les clients vers le serveur sont définis dans la première partie de la norme: définition des services. Le client peut par exemple naviguer (browse) dans le serveur c-à-d rendre visible tous les objets disponibles dans le serveur. Il peut définir, supprimer, changer ou accéder aux objets à l'aide des opérations de lecture/écriture.

Le serveur modélise les données réelles (température, pression, vitesse, position, ...). Ces données réelles et leur implémentation sont transparentes pour les clients. MMS n'impose aucune condition sur les détails d'implémentation par le serveur. Elle définit seulement comment les objets se comportent et comment ils se représentent au monde externe et comment le client peut les accéder.

Toute application ou équipement MMS qui fournit les fonctions d'un serveur doit suivre le modèle VMD pour tous les aspects visibles sur le réseau. Les clients MMS n'ont qu'à respecter le format et le séquençement des messages (le protocole).

#### 4. La machine virtuelle de fabrication "VMD"

Le modèle VMD est l'élément clé de la spécification MMS. Il spécifie comment les équipements MMS appelés serveurs se comportent vis-à-vis les applications MMS clientes. Le modèle VMD définit:

- **Les objets** (variables) contenus dans le serveur,
- **Les services** que peut utiliser un client pour accéder et manipuler ces objets (lire et écrire les variables), et
- **Le comportement** du serveur après réception des demandes des services de la part des clients.

Le serveur modélisé par la VMD représente un driver quasi-standard qui correspond au monde réel. La VMD cache et encapsule l'équipement réel, les définitions suivantes permettent de clarifier la notion "virtuel" :

Il est là et on peut le voir	----->	c'est <b>Réel</b>
Il est là et on ne peut pas le voir	----->	c'est <b>Transparent</b>
Il n'est pas là, mais on peut le voir	----->	c'est <b>Virtuel</b>
Il n'est pas là et on ne peut pas le voir	----->	c'est <b>Inexistant</b>

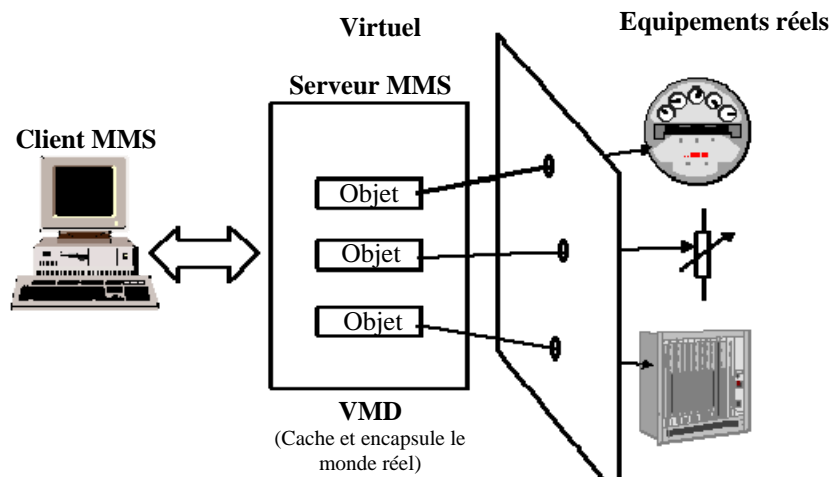


Fig 43 – La VMD

Il y a une grande différence entre un équipement réel (PLC) et les objets réels qu'il contient (variables), et l'équipement virtuel modélisé par la VMD. La correspondance entre les équipements réels et les objets virtuels est garantie par une "Fonction Exécutive" dont la réalisation est à la charge du constructeur de l'équipement. Cette fonction exécutive garantit le transfert des variables de l'équipement réel à celui virtuel.

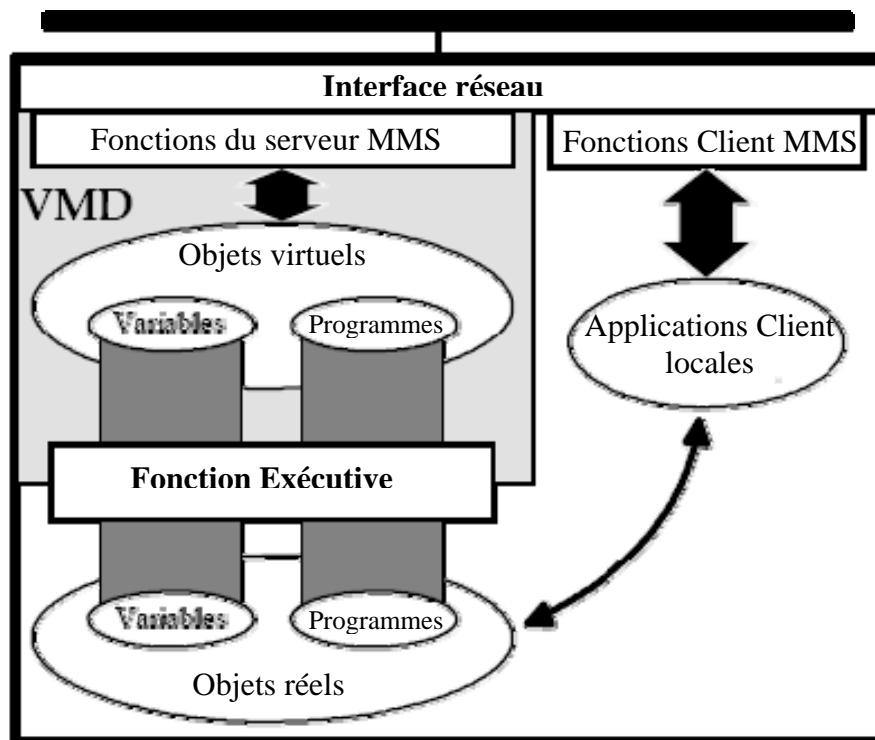


Fig 44 – Fonction exécutive dans la VMD

La fonction exécutive assure la correspondance entre le virtuel et le réel, les clients externes ou distants ne peuvent accéder qu'aux objets virtuels, tandis que les clients locaux peuvent accéder directement aux objets réels.

### Où peut-on trouver les VMDs

Selon l'implémentation de la VMD, on peut la trouver dans trois endroits très différents:

- Dans un équipement terminal: dans chaque équipement serveur est implémentée une VMD. L'implémentation de cette VMD peut accéder directement aux données de l'équipement. La modélisation peut représenter chaque champ d'application dans un équipement par une VMD. Les VMDs peuvent être indépendantes les une des autres.
- Dans une passerelle ou un proxy: Une ou plusieurs VMDs sont implémentées dans un ordinateur séparé (appelé passerelle ou proxy). Dans ce cas, tous les objets qui décrivent l'accès aux objets réels se trouvent dans une localité centrale. Les données virtuelles dans les passerelles peuvent être mises à jour par l'équipement terminal chaque fois qu'il est nécessaire, ou lors de la demande d'un client.
- Dans un fichier: une ou plusieurs VMDs peuvent être implémentées dans une base de donnée dans un ordinateur, dans un serveur FTP ou dans un CD-ROM. La VMD et ses objets peuvent être chargés en mémoire et utilisés comme si l'équipement réel existe. Cela permet de configurer et tester le système même avant la livraison de l'équipement lui-même.

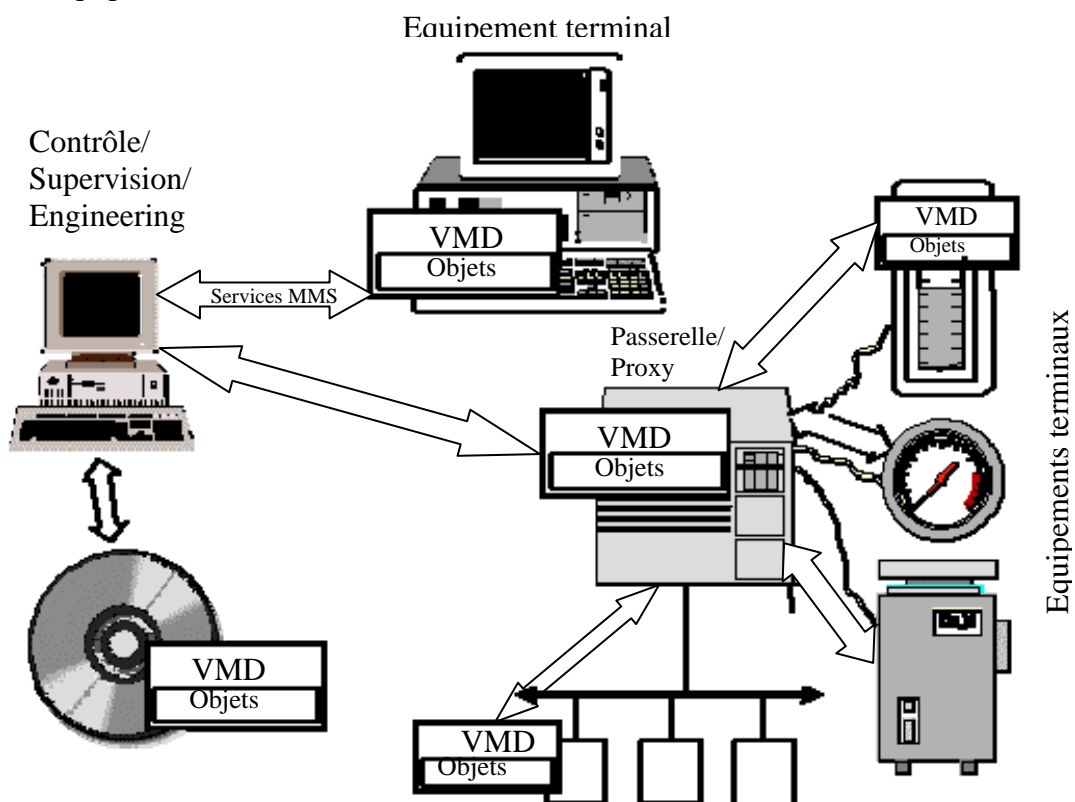


Fig 45 – Où peut se trouver une VMD

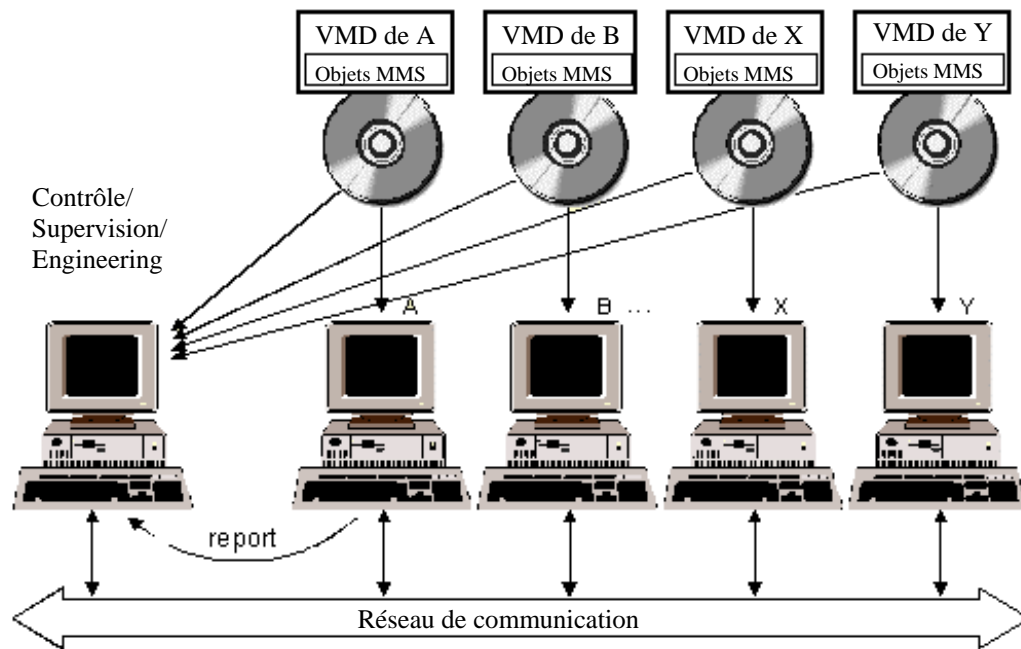


Fig 46 – Configuration d'un RLI à l'aide des VMDs

## 5. Les objets

MMS est décrit en terme d'objets abstraits qui définissent des données et leurs caractéristiques ainsi que les opérations qui peuvent être exécutées sur ces données ou sur les objets eux-mêmes. MMS modélise les ressources physiques et les fonctionnalités des différents équipements de production sous forme abstraite, et structure les interactions entre eux en terme de services et d'objets. Cette représentation abstraite ne concerne que les ressources et les fonctionnalités externes, visibles par les autres équipements, dans le cadre de l'exécution d'une fonction commune. MMS modélise une variété d'objets qui peuvent être trouvés dans les équipements et les applications nécessitant des communications temps réel. Les principaux objets sont les suivants:

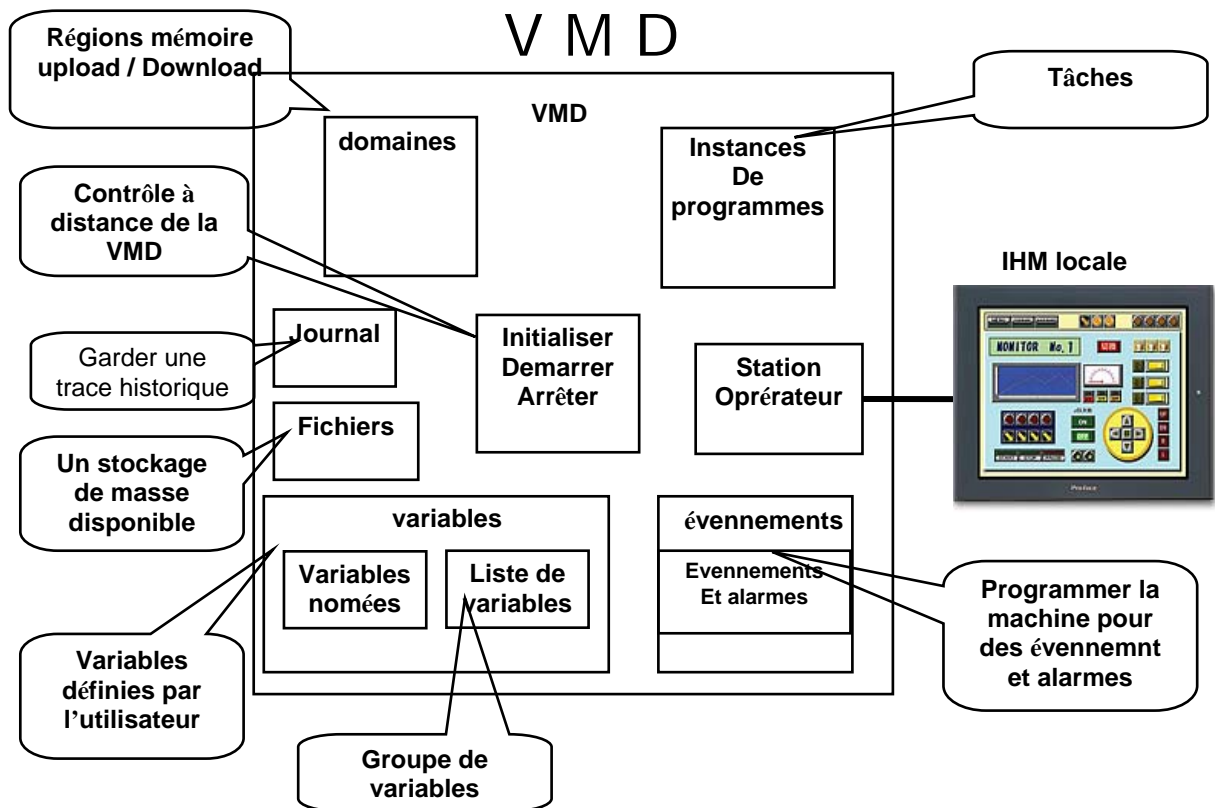


Fig 47 – Objets d'une VMD

### 1- La "VMD"

Ou "Virtual Manufacturing Device" est elle même un objet qui peut englober tous les autres objets. Cet objet modélise le procédé réel par son comportement externe visible. Ce peut être soit une information d'état de marche du système réel, mais aussi ses capacités.

### 2- Les "Domaines"

Un domaine représente à la fois une partie des capacités du système réel mais aussi leur utilisation à un moment donné. Il regroupe les fonctionnalités destinées au pilotage et/ou au suivi de l'équipement. Un domaine peut être un bloc de données qui peut être téléchargé, chargé, ...etc.

### 3- Les "Programmes"

Un programme MMS correspond à un ensemble de données et de procédures, accompagné des modalités d'exécution. Il définit un code ou une suite de code dans un environnement multi tâches. Un programme peut être démarré, arrêté, suspendu, ... etc.

#### **4- Les “Variables” et les “Types”**

Une variable MMS est un élément abstrait qui peut être représenté sous forme de données typées. Ce peut être un élément simple (booléen, entier, flottant, date) mais aussi plus complexe (tableau ou structure) sous forme d'une variable simple ou une liste de variables.

#### **5- Les “Sémaphores”**

Pour gérer des ressources partagées entre plusieurs utilisateurs, MMS a défini un certain nombre de sémaphores avec les services de synchronisation, de contrôle et de coordination qui sont associés.

#### **6- Les “Stations Opérateurs”**

Les stations opérateurs MMS permettent de modéliser la communication entre un système d'entrées-sorties orienté opérateur, ce dernier étant supposé à distance (ex: un écran + un clavier)

#### **7- les “Evénements”**

Chaque équipement doit pouvoir informer les autres des évolutions qui sont susceptibles de se produire durant le mode opératoire. Il faut pouvoir définir des conditions, des transitions, signaler des événements ou des alarmes et des actions à entreprendre lors de la détection d'un événement. Cette communication peut se faire par l'interrogation systématique d'un équipement ou par son déclenchement local.

#### **8- les “Journaux”**

Un journal, au sens MMS, doit être capable de conserver un nombre indéfini d'informations. Une information est composée de l'identité de l'application qui a créé cette entrée, de la date et l'heure de création de l'entrée, de son type, et selon son type, le texte de l'annotation ou les éléments concernant l'événement, ....

#### **9- Les “Fichiers ”**

Les fichiers sont utilisés pour enregistrer les programmes, les données, les paramètres, ...etc. Ils peuvent être ouverts, fermés, téléchargés, ...etc.

## **6. Services MMS**

La spécification MMS définit 15 classes d'objets et plus de 80 services qui opèrent sur ces objets. En plus des services de gestion des objets, on trouve les services de la gestion générale de l'environnement MMS :

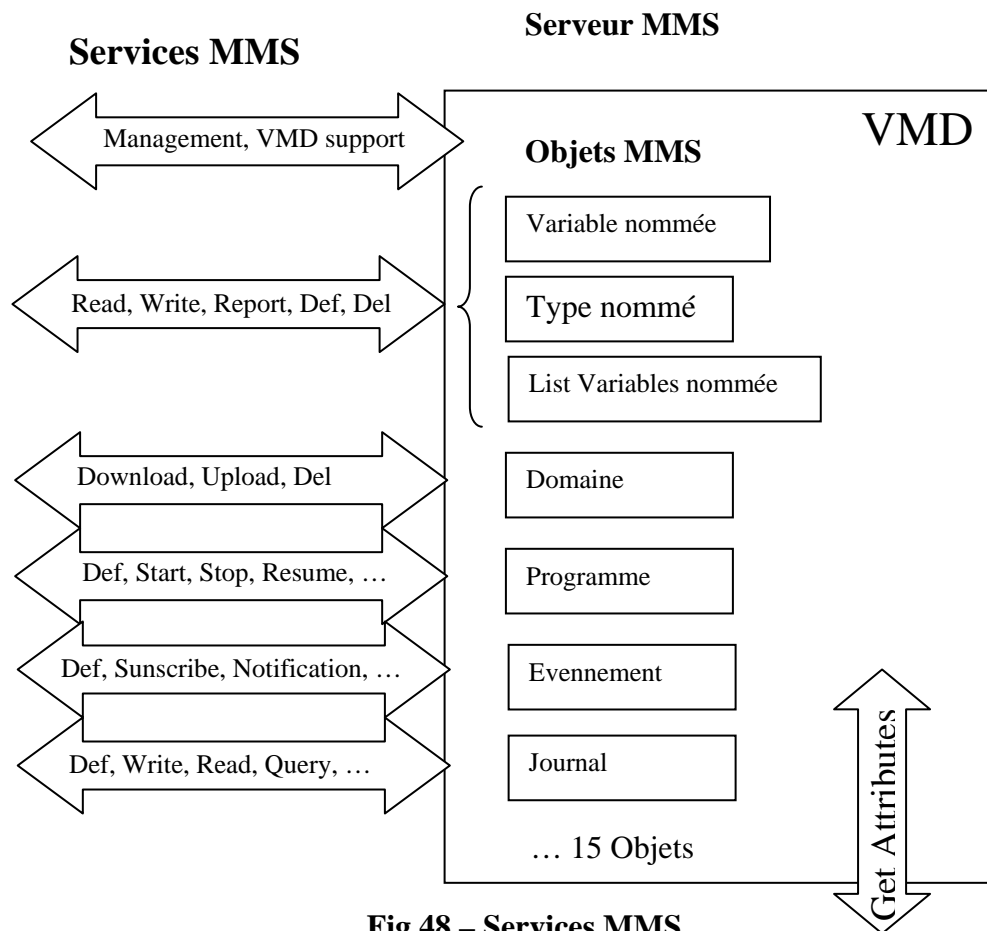


Fig 48 – Services MMS

- **Gestion générale de l'environnement MMS** : C'est un ensemble de services utilisés pour initialiser, gérer et libérer les connexions entre les utilisateurs MMS selon le modèle client/serveur. Ces services sont : **Initiate, Conclude, Abort, Cancel, Reject**.

- **Gestion de la VMD** : Chaque VMD dispose d'un ensemble d'attributs propres à elle en plus de ceux des objets qu'elle englobe, parmi ces attributs : *Vendor Name, Model Name, Revision, Logical Status, Physical Status, List of capabilities*. Les services de gestion de la VMD permettent à un utilisateur MMS d'obtenir des informations sur un serveur MMS (VMD). Parmi ces services : **Status** (demande d'état), **unsolicited status** (la VMD informe les clients), **Notify** (demande d'information sur la VMD), **Get Name List** (demande de la liste d'objets de la VMD), **Get Capability List** (demande des informations sur les ressources disponibles).

-**Gestion des domaines** : Les domaines représentent des conteneurs de zones mémoires, ils peuvent être échangés entre les différents équipements. Un domaine contient 12 attributs tel que son nom, son état, ... et les services permettant sa gestion tel que son chargement et téléchargement segment par segment, son effacement, lecture de ses attributs, ...etc

**-Gestion des programmes :** Une instance de programme est un objet dynamique qui correspond à l'exécution d'un programme, elle peut mettre en liaison plusieurs domaines. En plus des attributs de nom, d'état, des paramètres d'exécution, Une instance de programme peut se trouver dans l'un de cinq états, et plusieurs services permettent de transiter entre ces états.

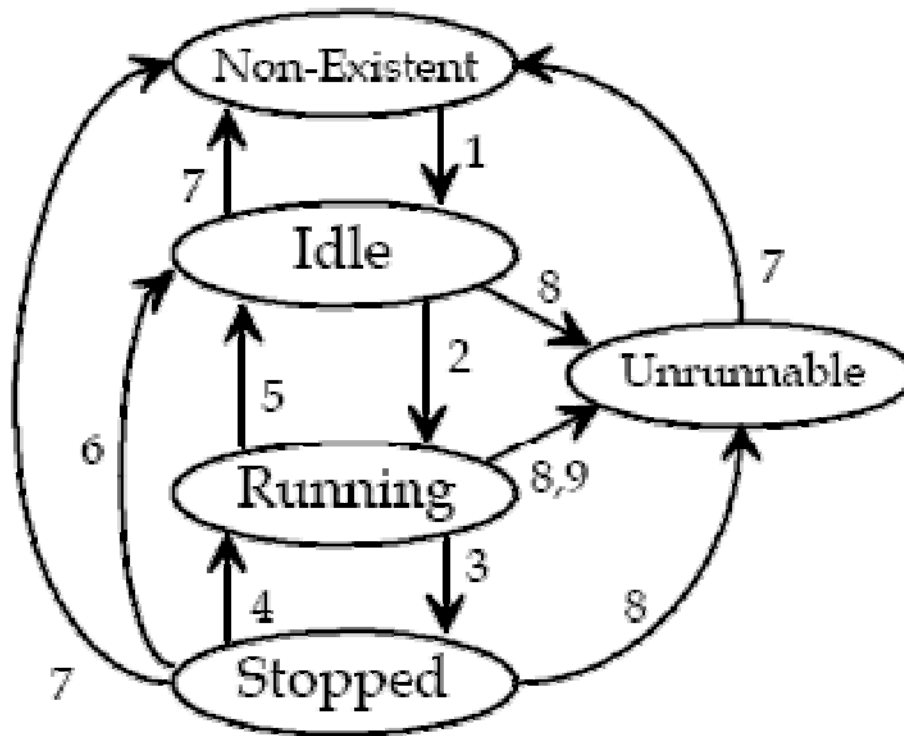


Fig 49 – Différents états d'une instance de programme

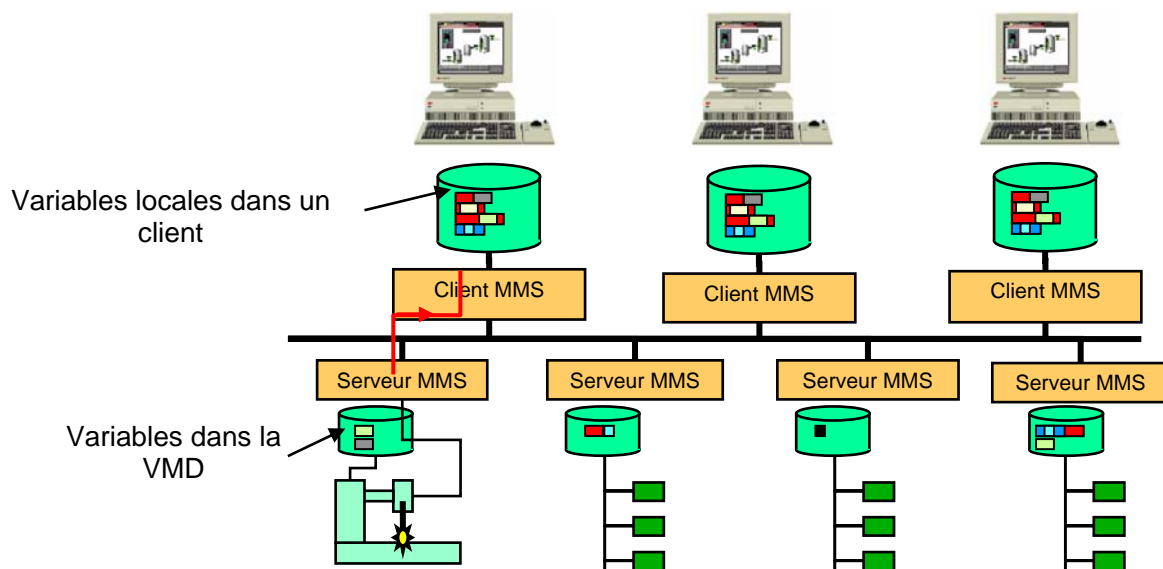
Les clients MMS utilisent les services suivants pour causer des transitions entre les états d'une instance de programme.

1. CreateProgramInvocation
2. Start
3. Stop
4. Resume
5. Fin d'un programme réutilisable
6. Reset
7. DeleteProgramInvocation
8. Kill
9. Fin d'un programme non réutilisable.

### - Gestion des variables :

Les variables sont les objets les plus importants dans MMS. A travers ces variables, un client peut lire et écrire des variables locales dans un équipement distant. Les variables peuvent être lues ou écrites individuellement ou par listes. Une variable est caractérisée par :

- Son nom,
- Son type
- Ses attributs:
  - Deletable (l'accès à la variable peut être supprimé par le client)
  - Méthode d'accès.



**Fig 50 – Gestion des variables**

La mise à jour des variables locales dans le client peut être faite en plusieurs manières

#### - Polling :

- a) Le bus scanne périodiquement les variables et fait la mise à jour.
- b) Le client interroge périodiquement ou en cas de besoin les variables qui les intéressent.

#### - Evénements:

- a) Les serveurs signal des événements prédéfinies et diffusent les valeurs
- b) Les clients définissent les événements et leurs destinations

MMS définit trois classes de variables :

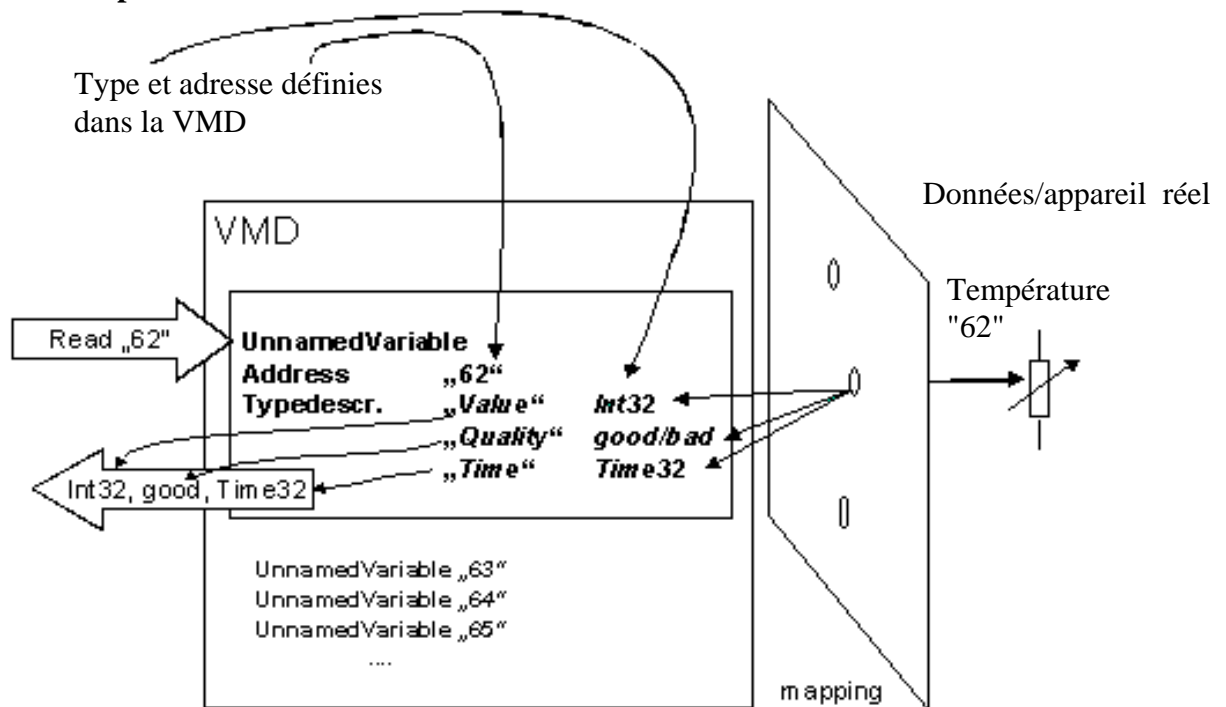
#### 1- Les variables non nommées :

Sont identifiées par des adresses physiques fixes dans la VMD, et exprimées par:

- Adresse numérique (e.g. 0xAF043BC0)

- Adresse symbolique (e.g. MW%1004)
- Adresse sans contrainte dont la signification est laissé à la VMD

### Exemple



Les service MMS possibles sur cette classe de variable sont : **Read, Write, Information Report, Get Variable Access Attributes.**

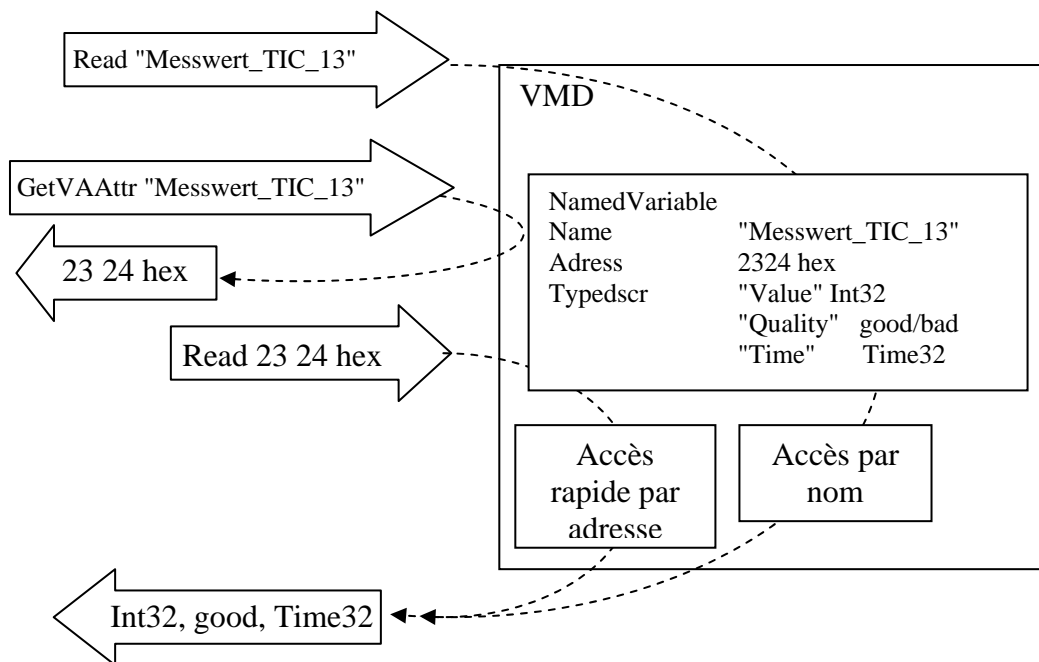
### 2- Les variables nommées

Sont identifiées par des noms (chaîne de caractères). MMS supporte deux manières pour la structuration de l'espace de variables :

1) Utiliser des chaînes séparer par des "\$" pour designer le chemin de la variable dans les objets.

(e.g. Cell4\$Robot1\$Motor3\$TemperatureOil)

2) Définir des variables avec des types complexes.



**Fig 51 – Accès aux variables nommées et non nommées dans MMS**

Les service MMS possibles sur cette classe de variable sont : **Read, Write, Define Named Variable, Get Variable Access Attributes, delete Variable Access.**

### 3- Les types nommés

Le type d'une variable indique son format et si possible l'intervalle des valeurs prises par cette variable. MMS permet à un type d'une variable d'être : décrit ou défini. Un type décrit n'est pas un objet mais plutôt une description binaire du format de la variable. Les types décrits par MMS sont : array, structure, boolean, bit-string, integer, unsigned, floating-point, real , octet-string, visible-string, GeneralizedTime, binary-time, bcd, booleanArray, objId, MMSString.

Un type défini est un objet créé par l'utilisateur pour décrire un format de données spécifique. On peut définir dans MMS des types simples ou complexes tel que les tableaux et les structures.

### 4- Les listes nommées de variables

Une liste nommée de variable permet de regrouper des variables nommées et non nommées ce qui permet de faciliter l'accès fréquent à un certain nombre de variables. Mais le plus important c'est de permettre un accès simultané à plusieurs variables.

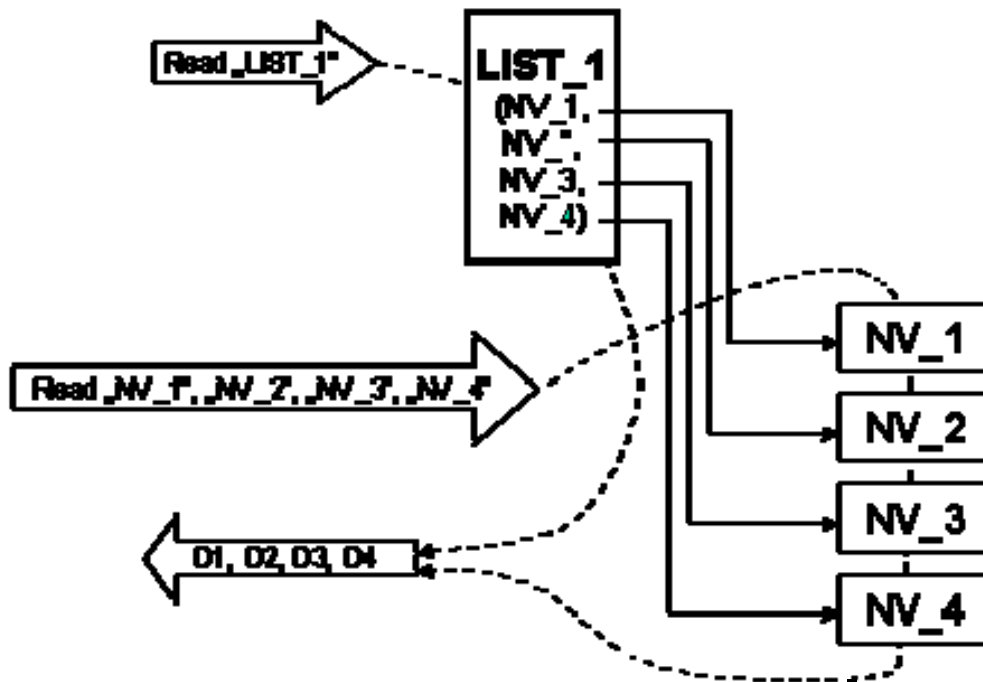


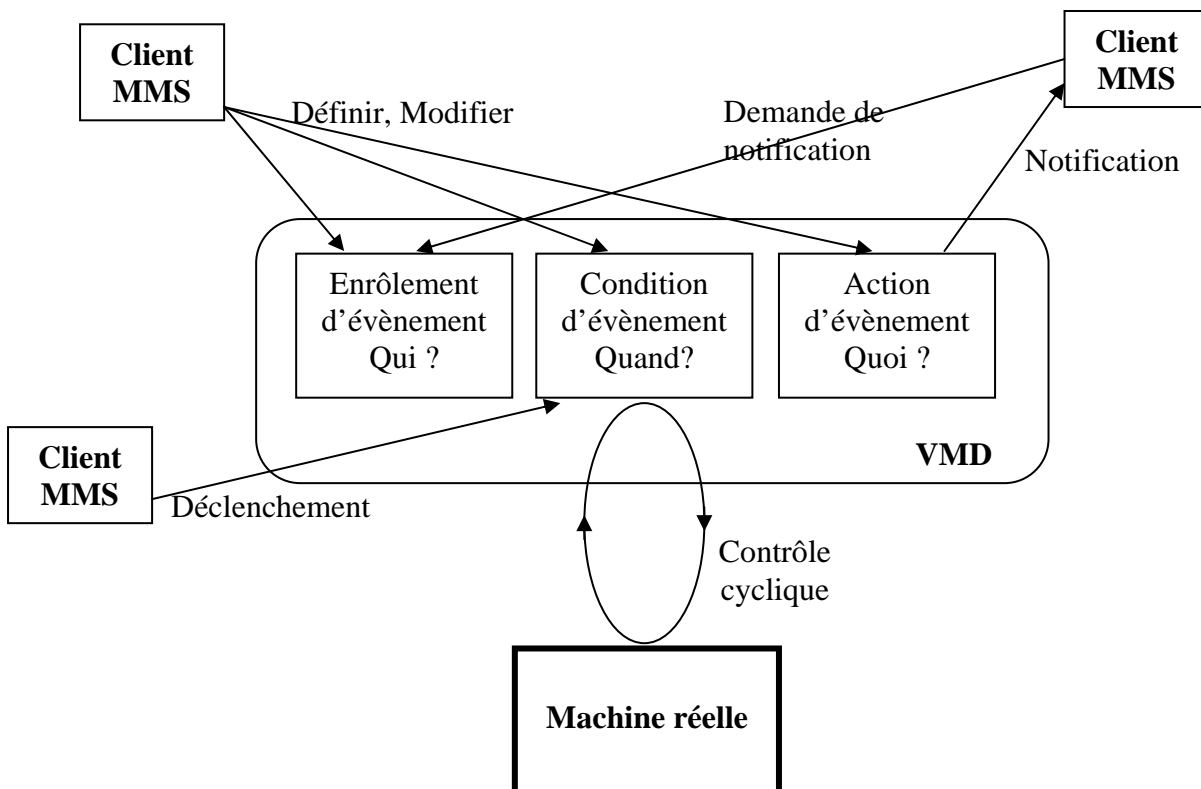
Fig 52 – Service de gestion des listes de variables

Les service MMS possibles sur cette classe de variable sont : **Read, Write, Define Named Variable List, Information Report, Get Named Variable List Attributes, delete Named Variable List.**

#### - Gestion d'évènement

Pour gérer les évènements et les alarmes MMS définit trois objets :

- Condition d'évènement: définit une condition booléenne dont la vérification est nécessaire pour le déclenchement de l'évènement ainsi que sa priorité.
- Enrôlement d'évènement: définit les clients MMS qui doivent être informés une fois l'évènement est déclenché.
- Action d'évènement: définit les actions qui doivent être exécutées par la VMD une fois l'évènement est déclenché.



**Fig 53 – Les événements dans MMS**

Un évènement peut être déclenché soit par un changement d'une variable booléenne dans la VMD (la vérification de sa condition) ou directement par un client.

#### **- Gestion des sémaphores**

Dans plusieurs systèmes temps réel, il y a besoin de mécanismes par lesquels une application peut contrôler l'accès à un système de ressources. Un exemple peut être un espace de travail accessible par plusieurs robots. MMS définit deux types de sémaphores pour ce type d'applications: Les Sémaphores à jeton et les Sémaphores commun.

#### **Sémaphore à jeton**

Un sémaphore à jeton est modélisé comme une collection de jetons libres et jetons occupés. Lorsqu'un robot (client MMS) veut accéder à un espace partagé, il envoie une demande TakeControl à la VMD contrôlant l'espace. S'il y a un jeton libre la VMD va changer son état de libre à occupé et envoie une réponse positive au client. Sinon une réponse négative est envoyée.

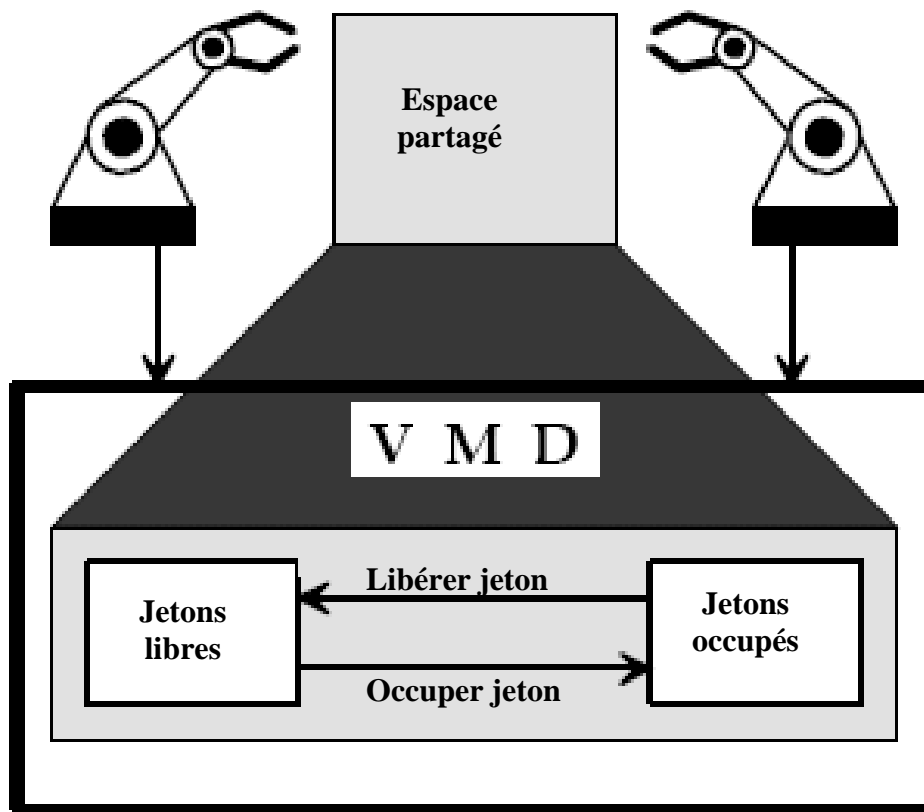


Fig 54 – Les sémaphores à jeton dans MMS

### Sémaphore commun

Il est similaire au précédent à part que les jetons sont identifiables et possèdent des noms. Le sémaphore lui-même est un objet mais les jetons contenus dans cet objet représentent des ressources réelles dans la VMD

#### - Gestion des stations d'opérateurs

Une station opérateur est un objet MMS qui peut être utilisé pour représenter les équipements ayant un caractère basé sur les entrées/sorties qui peuvent être attachés à la VMD pour des besoins de communication avec un opérateur local.

MMS définit trois types de station opérateur:

- Entry : c'est une station d'opérateur qui est constitué d'un périphérique d'entrée tel q'un clavier ou un lecteur de codes à barre. La donnée d'entrée est une visiblestring (une chaîne de caractère alphanumérique)
- Display : Utilisée pour afficher les chaîne de type VisibleString.
- Entry-Display : joue les deux rôles.

Les services MMS sur ces objets permettent à un client d'accéder directement aux stations d'opérateur pour lire ou afficher des informations.

#### **- Gestion des journaux**

Un journal MMS représente un fichier log qui contient une collection d'enregistrements (appelés entrées) organisé selon leur temps de production. Les journaux sont utilisés pour enregistrer l'historique du comportement d'un système. Les services MMS permettent aux clients de créer, supprimer, lire, ajouter des entrées, ou initialiser un journal.

#### **- Gestion des fichiers**

MMS fournit un ensemble de services simple de transfert de fichiers. Plusieurs implémentation MMS pour les robots utilisent les services de transfert des fichier pour transférer les fichiers des programmes (domaines) à partir des applications clientes.

## CHAPITRE V : Les réseaux de terrain

### 1. Introduction

Généralement le terme « réseau de terrain » regroupe tous les bus de communication utilisés dans le monde industriel, néanmoins, on peut distinguer trois bus de complexités différentes :

- Le réseau d'usine : c'est un réseau local industriel basé sur Ethernet de type MAP
- Le réseau d'atelier : pour relier les unités intelligentes ou à intelligence limitée.
- Le réseau de terrain ou capteurs/actionneurs pour relier les nœuds à intelligence limitée ou nulle.

Le niveau terrain est le plus proche de la production; il correspond aux différentes machines qui assurent la fabrication, la transformation, l'assemblage autour d'un objet ou d'un ensemble.

Le réseau de terrain (fieldbus) est un réseau local industriel. Il est qualifié d'industriel car orienté production et local car établi dans une partie de ce site de production que constitue une entreprise. C'est un réseau de communication numérique reliant différents types d'équipements d'automatisme intelligents ou à intelligence limitée pour permettre leur coopération tel que : les capteurs, les actionneurs, les automates programmables, les machines à commande numérique, les robots, les calculateurs ...etc.

Dans les réseaux de terrain, la taille des messages échangés est assez faible comparativement aux autres types de réseaux, locaux ou à grandes distances. Les flux d'information sont plutôt périodiques et l'aspect contrainte de temps (temps réel) est prioritaire. Les réseaux de terrain fonctionnent au sein d'environnements perturbés du point de vue électromagnétique, le support utilisé est généralement un câble coaxial blindé ou une paire torsadée travaillant en mode différentiel ou encore une fibre optique pour une plus grande immunité au bruit. Les distances de communications sont assez faibles par rapport aux autres types de réseaux, souvent inférieures à quelques dizaines de mètres.

Une topologie en bus est généralement adoptée pour sa facilité de mise en place, d'évolution (ajout ou retrait de systèmes) et d'extension (répéteurs).

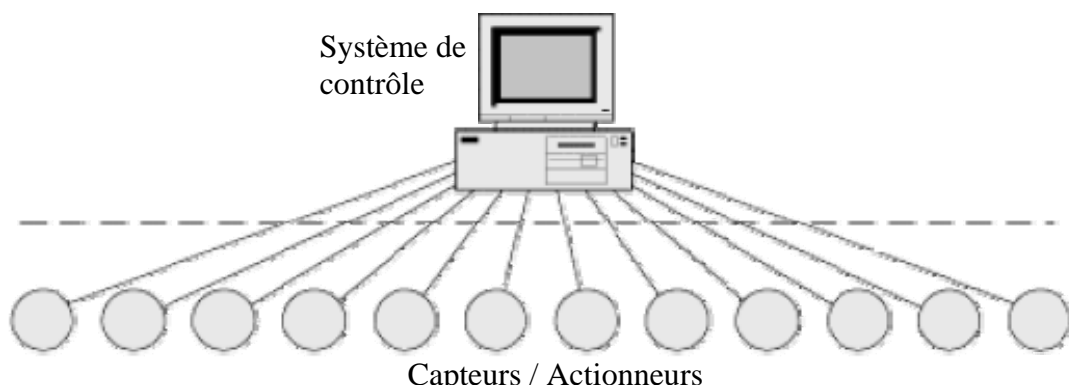
Les réseaux de terrain sont de plus en plus intégrés dans le monde industriel. En 2000, l'Europe utilisait plus de 700,000 réseaux de terrain.

La standardisation des réseaux de terrain a connu un accouchement difficile. La UIT l'a pris en charge, mais les pressions des différents groupes d'intérêts industriels ont retardé l'apparition d'un standard international et a conduit à l'apparition des solutions propriétaires appelées « standards de fait ». On trouve aujourd'hui deux types de standards de réseaux de terrain :

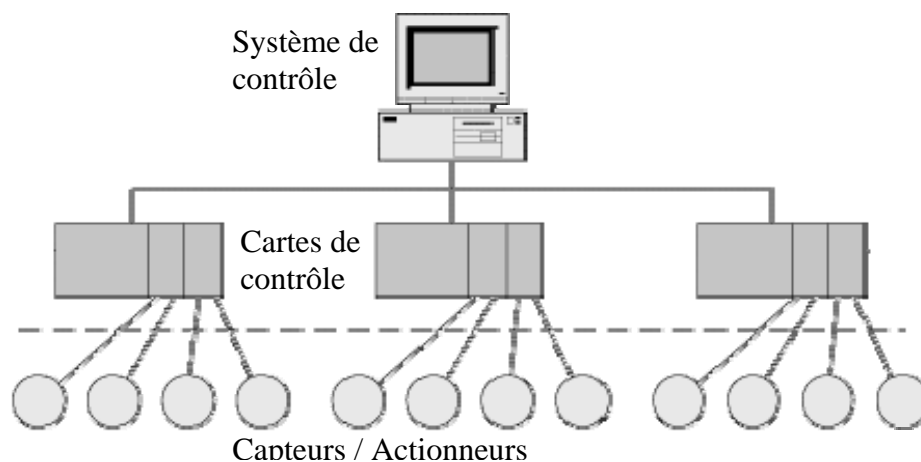
- Standards de faits : tel que Interbus, LONWorks,
- Standards internationaux : tel que : WorldFIP(Europe), Profibus( USA)

## 2. Avantages des réseaux de terrain

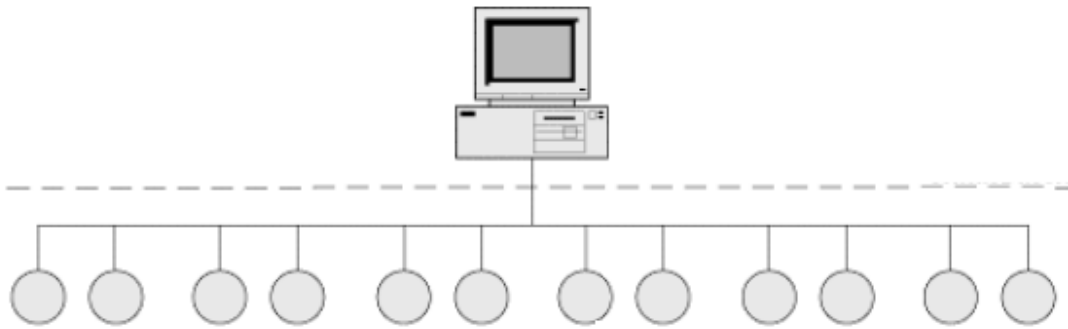
Le but initial des bus de terrain était de remplacer les anciens systèmes centralisés en distribuant le contrôle, le traitement des alarmes, le diagnostic aux différents équipements qui sont devenus de plus en plus intelligents.



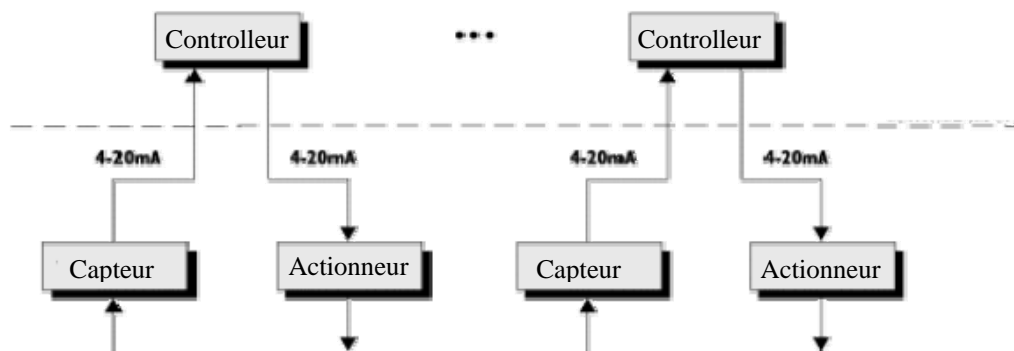
**Fig 55 – Système de contrôle direct**



**Fig 56 – Systèmes de contrôle distribué**

**Fig 57 – Bus de terrain**

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 58 – 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:

1- 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

2- Réduire le coût d'exploitation en :

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

### 3- 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 noeud)
- Accès à des variables multiples pour un noeud

## 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

Bus de terrain :

- Permet l'envoi de trames de quelques dizaines d'octets à 256 octets...
- Temps de réaction de quelques ms à quelques dizaines de ms

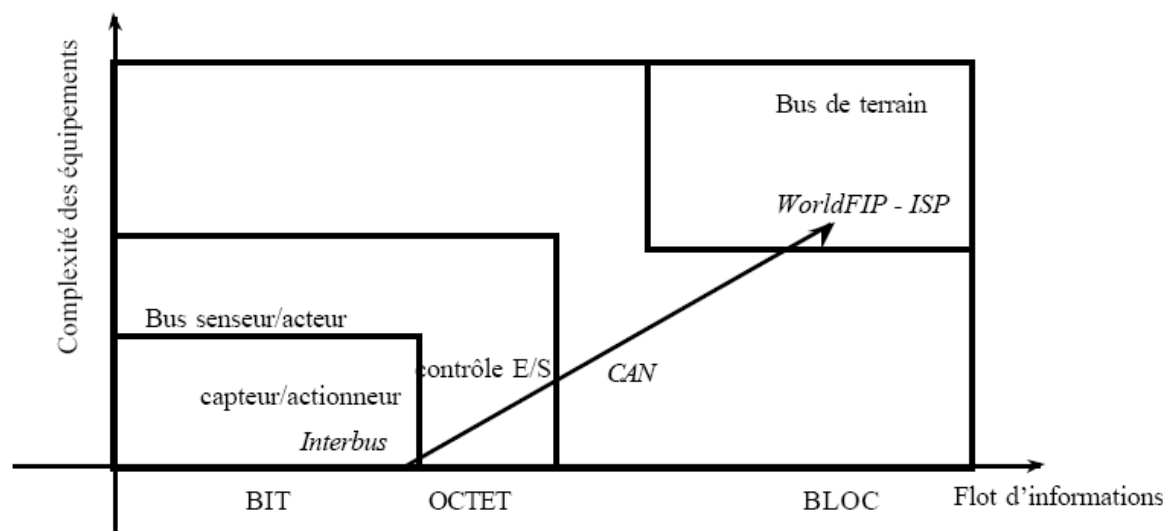
- Relie de unités intelligentes qui coopèrent dans l'exécution de travaux (coopération de tous les noeuds)
- Communications Maître/Esclave ou Multimaître
- Possibilité d'accès au niveau inférieur (capteur/actionneur)

Bus capteur/actionneur :

- Relie entre eux des noeuds 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, AS-Interface, 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 59 – 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.

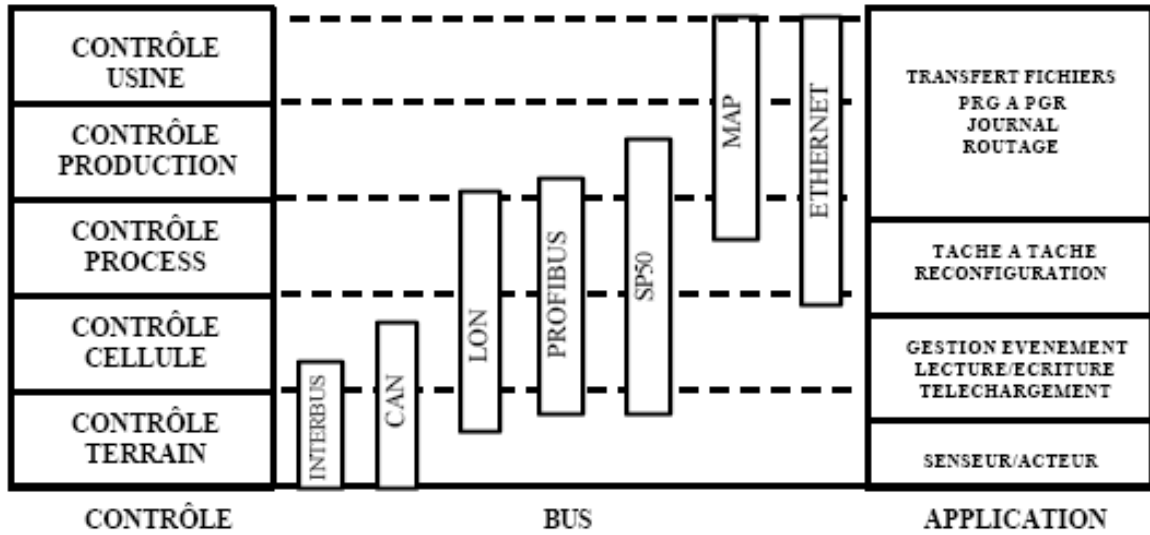


Fig 60 – Classification des bus de terrain selon les fonction

Les réseau 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 :

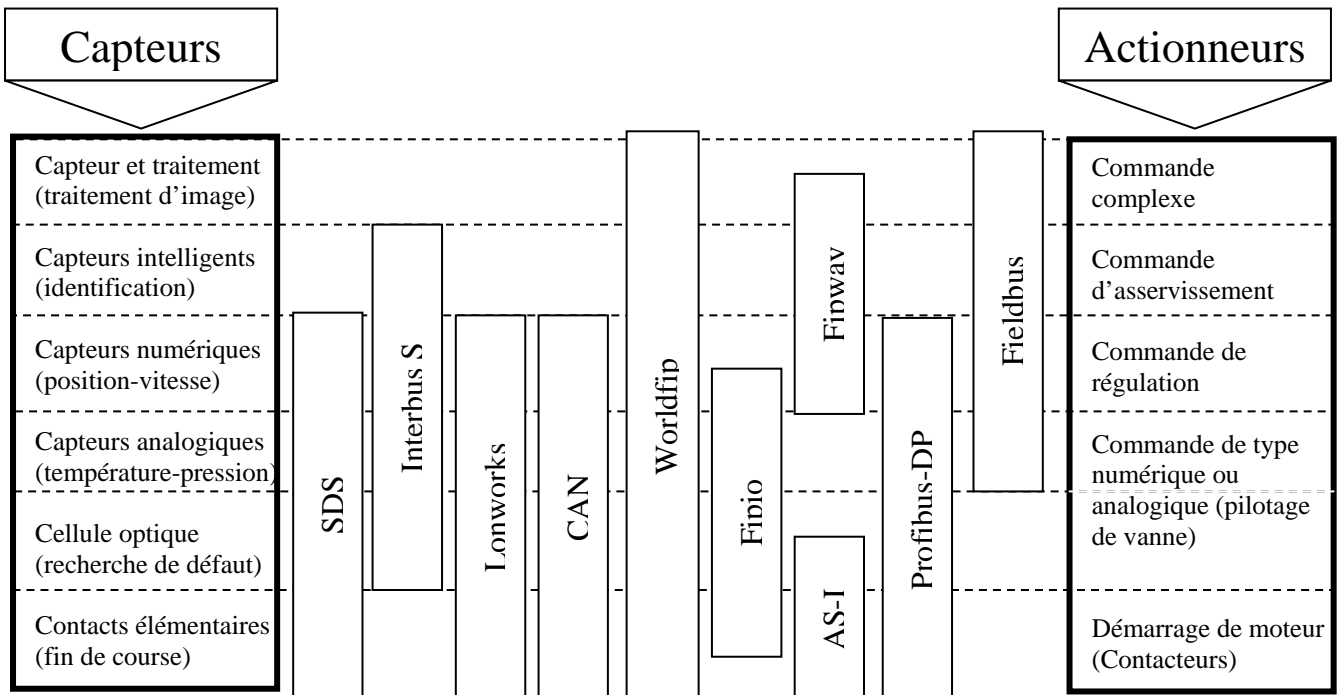


Fig 61 – Champs d'application des réseaux capteurs/actionneurs

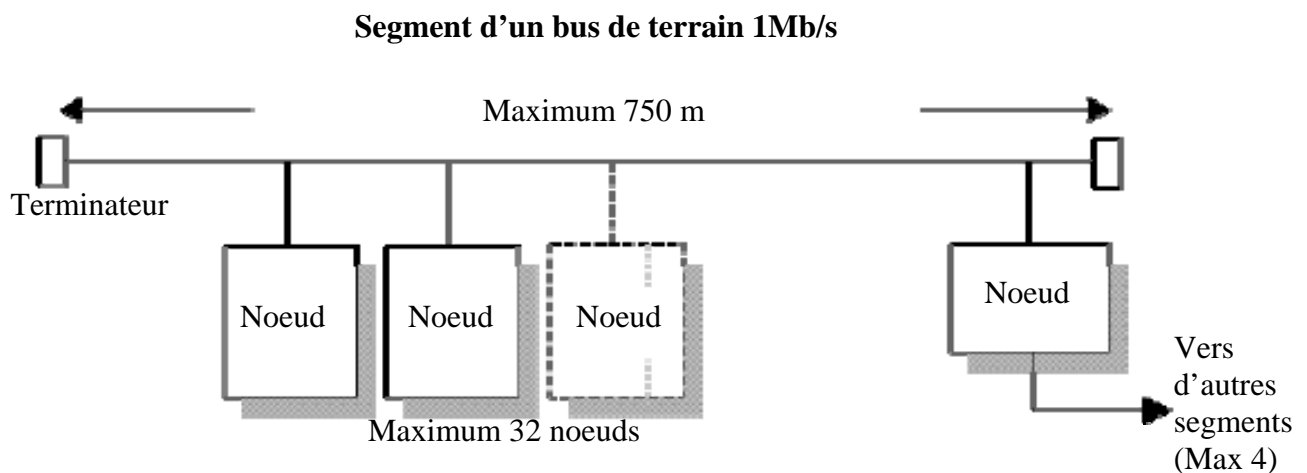
## 4. Etude de cas:

### a. World FIP (Factory Instrumentation Protocol)

C'est un bus de terrain Français à l'initiative du ministère de l'industrie en 1982. C'est un standard de fait qui respecte la norme OSI de l'ISO (couches 1,2,7)

#### 1) Couche physique

- Utilise une paire torsadée blindée de 150  $\Omega$  avec une paire supplémentaire en cas de défaillance.
- Nombre maximum de nœuds est au plus 32 par segment
- Quatre repeteurs au plus
- Codage Manchester
- Débits normalisés
- 31.25 Kb/s jusqu'à 1900 m
- 1 Mb/s jusqu'à 750 m
- 2.5 Mb/s jusqu'à 500 m
- 25 Mb/s grâce à FIP HSF (High Speed FieldBus)
- Topologie étoile, anneau ou bus.



#### 2) Couche liaison

- Utilise le code CRC 16 bits
- Réseau à arbitre de bus de type P/C pour l'échange des :
  - Variables cycliques (périodiques) temps critique toujours transmises
  - Variables événementielles temps critiques (apériodiques) : alarmes
  - Messages non temps critique transmises si possible (maintenance).

#### 3) Couche application

Modèle client/serveur

Messagerie MMS

## b. Interbus

Interbus est un standard de fait (1987) développé par Phoenix Contact, spécialiste des capteurs/actionneurs et qui respecte le modèle OSI (1,2,7)

C'est réseau de bas niveau développé initialement pour interconnecter des automates programmables.

### 1) Coche physique

- Topologie en anneau (2 paires torsadées)
- Nombre maximum de nœuds 256
- Débit brut égale à 500 Kb/s
- Débit utile 300 Kb/s
- Fonction de répéteur réalisée par chaque nœud traversé.
- Longueur maximale égale à 12.8 Km

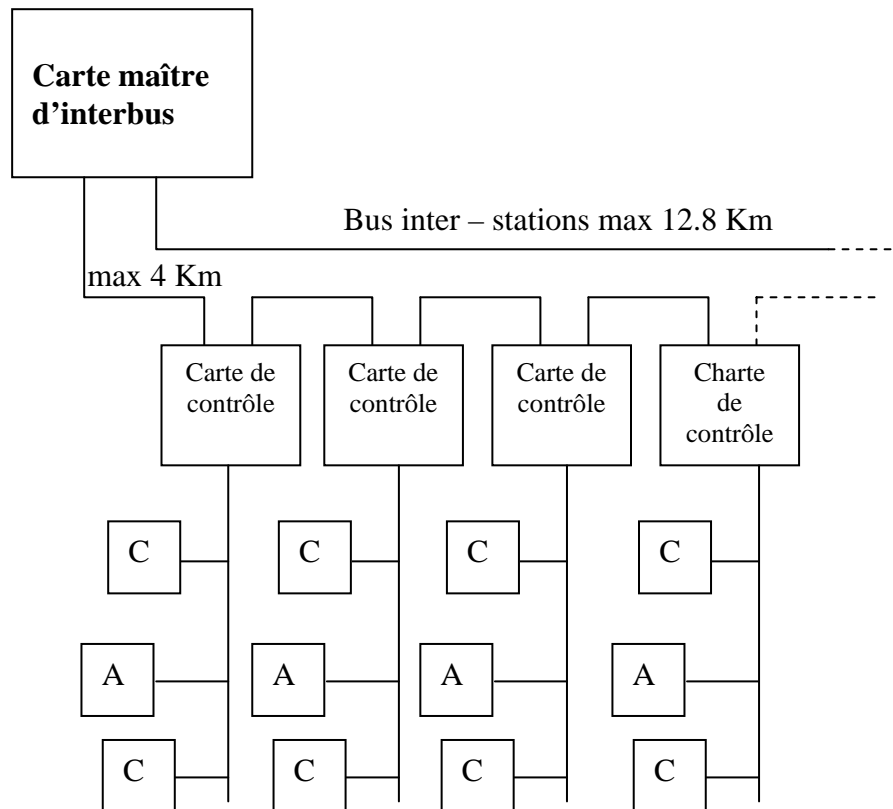


Fig 63 – Réseau Interbus

### 2) Couche liaison

- Utilise une trame de type TDMA (Time Division Multiple Access)
- Deux types de trames
  - Une pour identifier les modules
  - Une autre pour les contrôler
- Code CRC 16 bits
- Communication maître/multiesclaves (déterministe)
- Accès cyclique à des variables d'E/S temps critique

- Accès acyclique à des messages non temps critique

### 3) Coche application

- Modèle client/serveur
- Spécification PMS (Peripheral Message Specification) basé sur le standard MMS
- Accès direct aux données d'E/S

#### c. Bus CAN (Control Area Network)

C'est un standard de fait développé par Robert Bosch GmbH et Intel en 1985 pour l'industrie des automobiles. Il a été ensuite généralisé pour l'automatisme et les applications de contrôle.

C'est un bus de terrain qui respecte la norme OSI (1,2,7) très utilisé dans les automobiles, les équipements médicaux, avionique, automates industriels machines à outils, batiments, distribution automatique, ...etc.

#### 1) Couche physique

- Topologie Bus
- Une paire blindée (ou non)
- Conçu pour de courtes distances < 40 m
- Codage NRZ
- Nbre de nœuds < 120
- Débit brut 5 Kb/s à 1 Mb/s selon la longueur du réseau

#### 2) Couche liaison

- Communication multimaîtres
- Accès au medium de type CSMA/CA
- Utilise trois types de trames
  - Data frame : pour les données,
  - Remote frame pour demander l'émission des données,
  - Error frame : pour signaler les erreurs.

#### 3) Couche application

Le standard CAN ne définit aucune application, c'est à l'utilisateur ou le concepteur de choisir ou développer l'application dont il a besoin. On trouve plusieurs applications basées sur CAN développées par le groupe CiA ( CAN in Automation)

CAL : CAN Application Layer basée sur CMS (CAN Message Spécification)

CANOpen : Une spécification de CAL pour des profils bien déterminés

DeviceNet : La couche applicative est portée sur Ethernet/TCP/IP (projet EtherNet/IP)

## d. LonWorks (Local Operating Network Works)

LonWorks est un standard de fait propriétaire développé par la société Echelon, qui respecte le modèle OSI complet (couches 1 à 7) contrairement au bus de terrain « classique » (couches 1,2 et 7). Il fonctionne au niveau terrain ou atelier. En 2002 LonWorks occupait plus de 34% du marché des réseaux de terrain.

### 1) Couche physique

- Médium : paire torsadée, câble coaxial ou Fibres optique.
- Topologie : anneau, bus, étoile ou libre
- Nombre max de noeuds : 32385 par domaine
- Débit brut de 2 kb/s à 1,25 Mb/s
- Longueur de 500 m à 2700 m
- Codage de type Manchester

### 2) Couche liaison

- Méthode d'accès CSMA/CA
- Code CRC 16 bits
- Trame de données d'au plus 256 octets
- Communication multimaitres

### 3) Couche réseau

- Possibilité de sous adressage par un routeur

### 4) Couches supérieurs

- Conformes au modèle OSI
- Modèle MMS

## e. ProfiBus (Process FieldBus)

C'est un bus de terrain normalisé, très utilisé dans les environnements extrêmement sensibles (industrie chimique, pétrochimie, nucléaire,...). C'est un réseau Allemand normalisé international en 1999. ProfiBus respecte le modèle OSI réduit (1,2,7), il permet d'interconnecter un matériel hétérogène de différents constructeurs. Il permet :

- la transmission des données critiques en temps réel.
- le raccordement direct des capteurs actionneurs sur le bus.
- l'échange des données complexes et volumineuses par la gestion des cellules

Profibus existe en trois variantes de protocoles répondant chacune à des applications spécifiques :

**Profibus DP** (decentralized Peripheral ) couches (1,2): destiné aux applications maître/esclave (mono ou multi maître) en temps réel, c'est un protocole simple et performant.

**Profibus FMS** (FieldBus Message Specification) couches(1,2,7) : destiné aux applications de gestion des tâches industrielles complexes, il est basé sur la messagerie MMS.

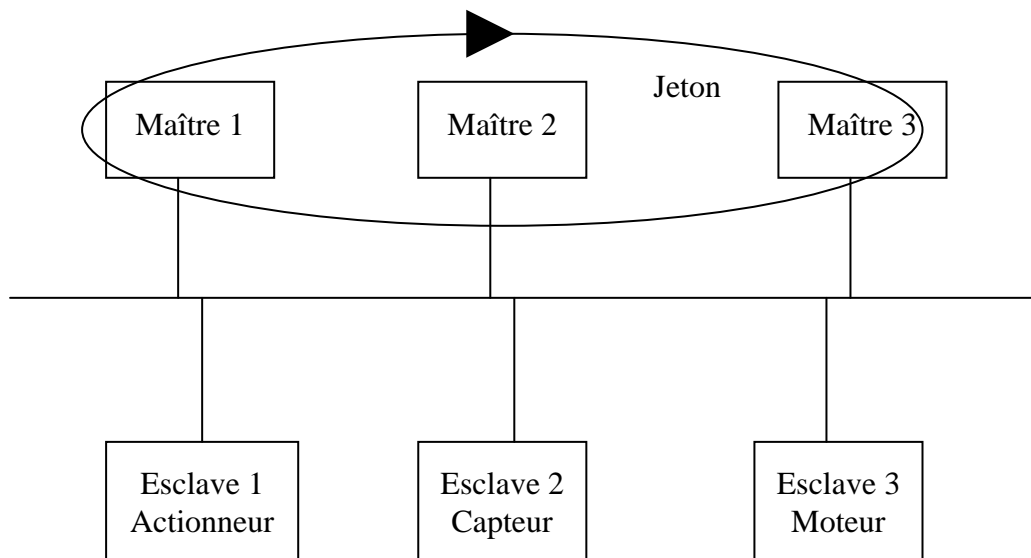
**Profibus PA** (Process Automation) : Opère dans le niveau capteur/actionneur.

## 1) Couche physique

- Codage NRZ
- Débit 9.6 Kbit/s à 12 Kbits/s
- 127 stations au maximum par segment
- Possibilité d'extension par répéteur jusqu'à 10 Km

## 2) Couche liaison

Profibus met en œuvre un mode de communication hybride pour l'accès au bus



**Fig 64 – Couche liaison de Profibus**

- Les maîtres accèdent au bus après réception du jeton.
- Une fois le jeton obtenu, un maître accède à ses esclaves (stations passives)

## Bibliographie

1. Les réseaux locaux industriels, F. LEPLACE et al. Editions Hermes, 1991.
2. Réseaux locaux industriels, Zoubir Mammeri et Jean-Pierre Thomesse, Edition Eyrolles, 1994.
3. - Réseaux locaux Industriels, Team – Pierre Thomesse, Techniques de l'ingénieur R7574, 1994
4. Spécification des réseaux locaux industriels, Cours de G. Beuchot, INSA 2004.
5. Introduction aux Réseaux Locaux Industriels, P. Hoppenot, Université d'Evry Val d'Essonne 1999.
6. Digital Networks in the Automotive Vehicle, Gabriel Leen, Donal Heffernan<sup>1</sup>, and Alan Dunne, PEI Technologies, University of Limerick, 2000.
7. Les réseaux locaux industriels, Hugues Angelis , IUT de Cachan 2004.
8. Introduction aux bus et réseaux temps réel, Bertrand Dupouy, ENST 2007.
9. Bus de terrain : une approche utilisateur, J.-C. Orsini, Cahier Technique Schneider Electric n° 197, mars 2000
10. Réseaux et bus de terrain, Frank Singhoff, Université de Bretagne occidentale, 2002
11. Communication industrielle pour l'automatisation, Brochure SimaticNet, Siemens, Avril 2006.
12. Contribution aux Messageries Industrielles, E. Gressier-Soudan, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Lille 2002.
13. Protocoles de gestion des appareils, H. Kirmann, ABB Research Center, Baden, Switzerland, Avril 2006.
14. An Overview to the Manufacturing Message Specification, Ralph Mackiewicz, Michigan Technological University, 1994.
15. Overview and Introduction to the Manufacturing Message Specification (MMS), SISCO, Inc. 1995.
16. LE BUS CAN, Patrice KADIONIK, ENSEIRB, 2001.
17. Bus CAN, Ahmed RACHID & Frédéric COLLET, Techniques de l'ingénieur S8140.
18. LES RESEAUX DE TERRAIN, Patrice KADIONIK, ENSEIRB, 2003.
19. Réseau Profibus, Eddy BAJIC & Bruno BOUARD, Techniques de l'ingénieur S8140.