



Master 2 Pro - Informatique

Communication dans les systèmes temps réel et embarqués

2008-2018

Zoubir Z. MAMMERY

1

Chapitre 1

Introduction à la communication dans les systèmes temps réel et embarqués

Communications dans les STRE - Z. MAMMERY

2

1. Introduction

Systèmes embarqués et temps réel

→ Systèmes temps réel fixes

- Usines, ateliers de production
- Installations (pétrole, chimie...)
- Installations de production d'énergie (nucléaires, thermiques)
- Multimédia (vidéoconférence, bourse, télé-achat...)
- ...

Superficies importantes

→ Systèmes temps réel mobiles

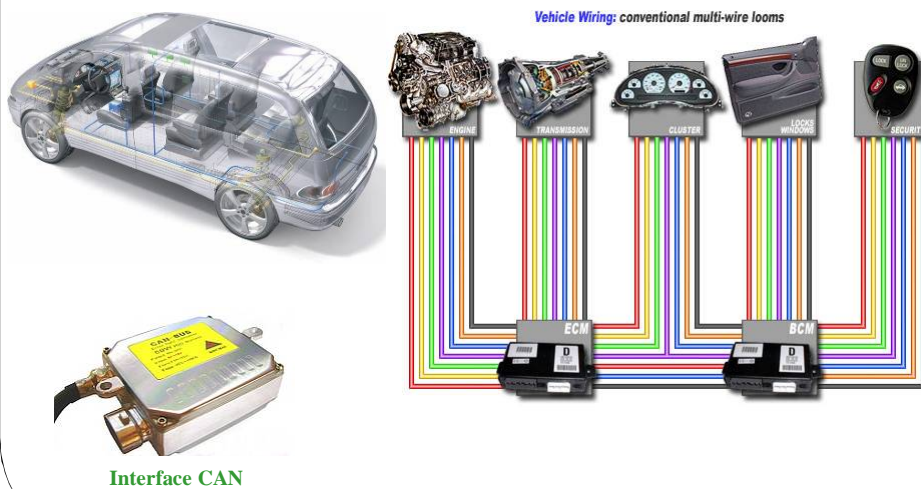
- Transport : Voitures, camions, trains, avions
- Télécommunications (téléphonie, vidéo...)
- Robotique
- Personnel (suivi de malades...)
- Engins militaires
- ...

Distances Très variables

Besoins de communication

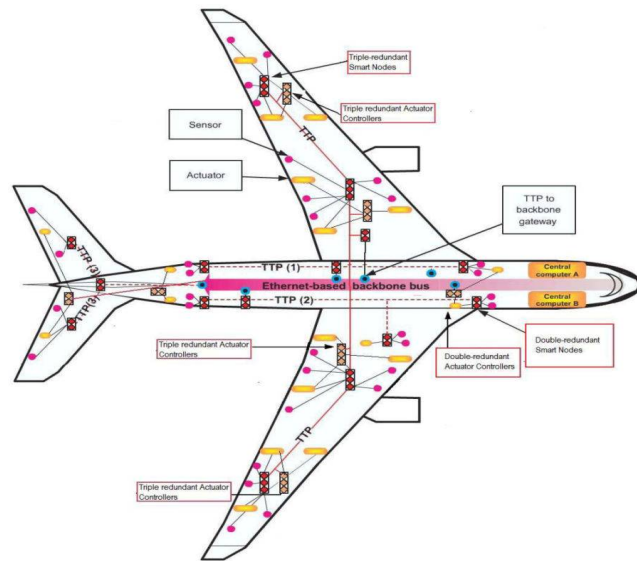
Exemple 1 : réseaux embarqués dans l'automobile

Systèmes embarqués et temps réel

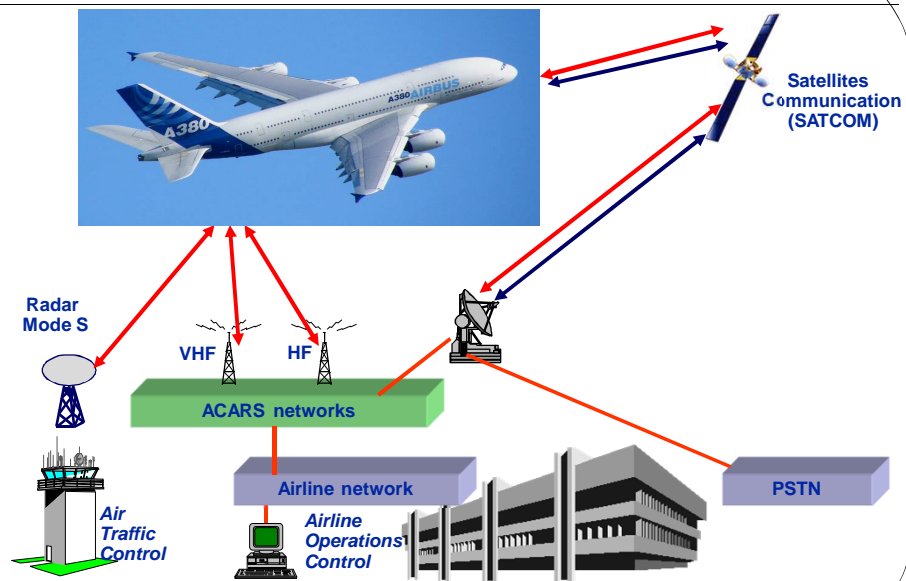


Interface CAN

Exemple 2 : réseaux embarqués dans l'avionique



Exemple 3 : réseaux aéronautiques



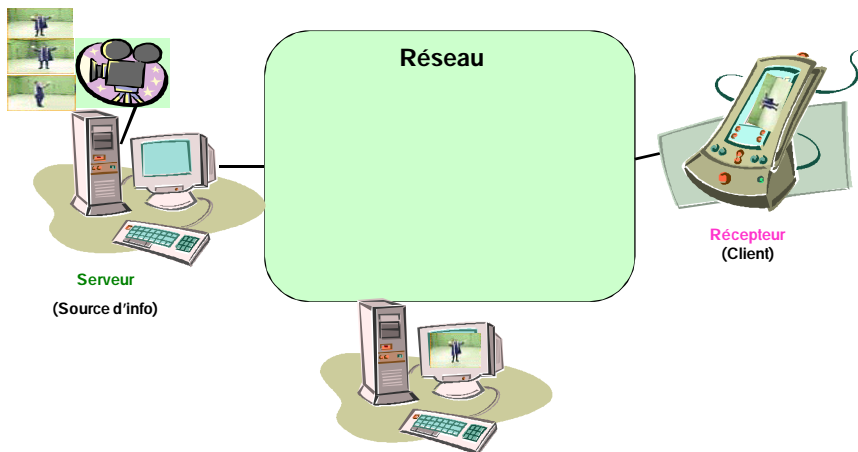
Exemple 4 : réseaux industriels



Communications dans les STRE - Z. MAMMERI

7

Exemple 5 : réseau Internet pour le multimédia

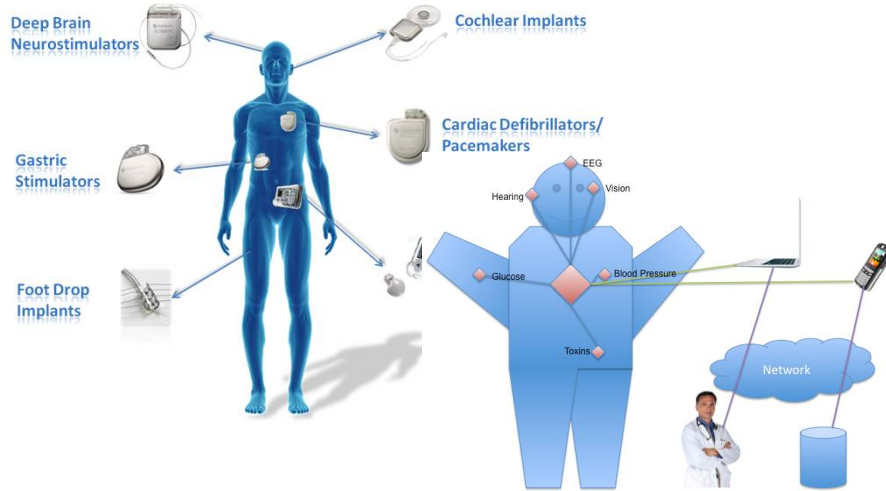


Communications dans les STRE - Z. MAMMERI

8

Exemple 6 : réseaux de corps (santé)

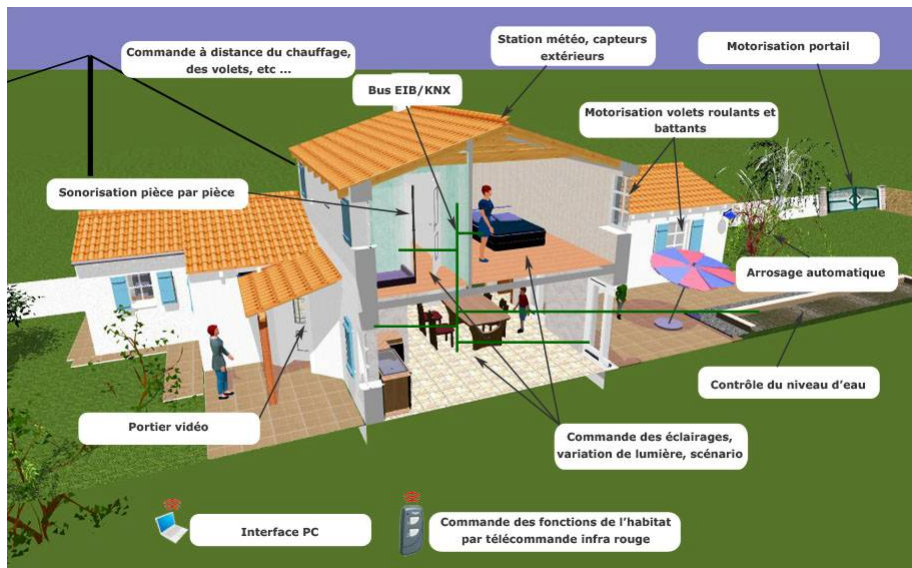
WIRELESS IMPLANTABLE MEDICAL DEVICES



Communications dans les STRE - Z. MAMMERI

9

Exemple 7 : réseaux domotiques



Communications dans les STRE - Z. MAMMERI

10

Classification des réseaux de communication

- **Criticité**
 - Systèmes critiques
 - Systèmes non critiques

- **Etendue géographique (portée)**
 - En réseau local
 - En réseau longue distance

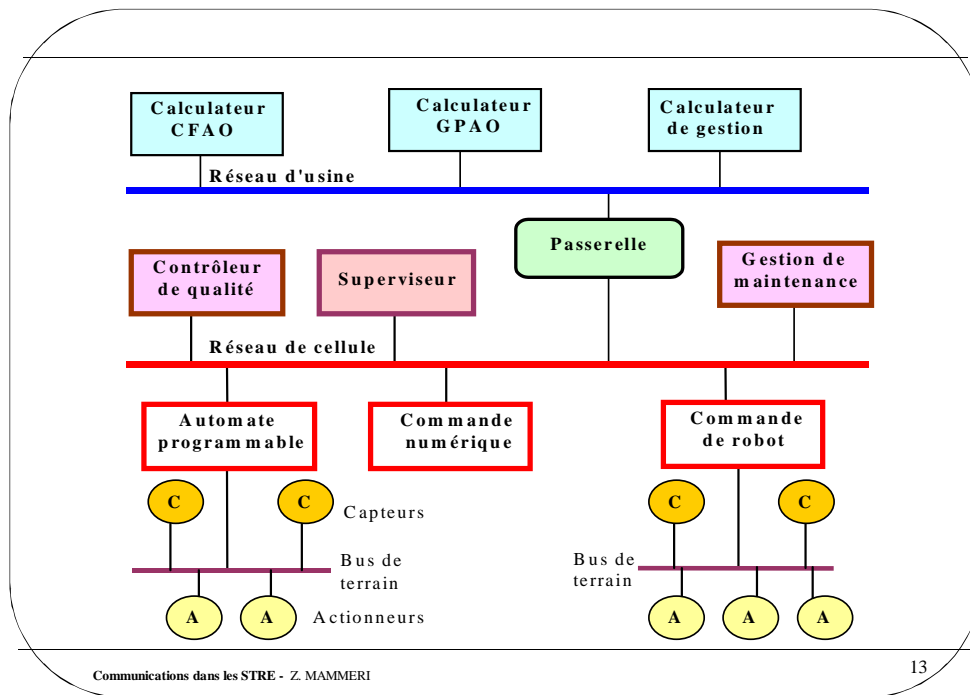
- **Moyens de communication**
 - Filaires
 - Sans fil

- **Environnement**
 - Agressif (industriel, nucléaire...), hostile (militaire...)
 - Sans contraintes

2. Besoins des applications temps réel et embarquées

Systemes automatisés

- **Fonctionnalités à supporter**
 - Fabrication automatisée
 - Supervision d'installations
 - Commande automatique
 - Contrôle et régulation de trafic urbain
 - ...



13

Systemes automatisés

■ Besoins en termes de communication

- Temps de réponse borné
- Gigue bornée
- Taux d'erreurs nul
- Disponibilité : 100%

■ Utilisation de réseaux locaux essentiellement

- FIP
- CAN
- Ethernet commuté
- TTP
- RLI particuliers

14

Applications multimédia

■ Selon l'interactivité

- **Non interactives** : radio et TV, vidéo à la demande, e-learning...
- **Interactives** : vidéo surveillance, téléguidage, vidéo conférence, téléphonie, conférence téléphonique, TV interactive, télé-médecine, téléachat, bourse, jeux...

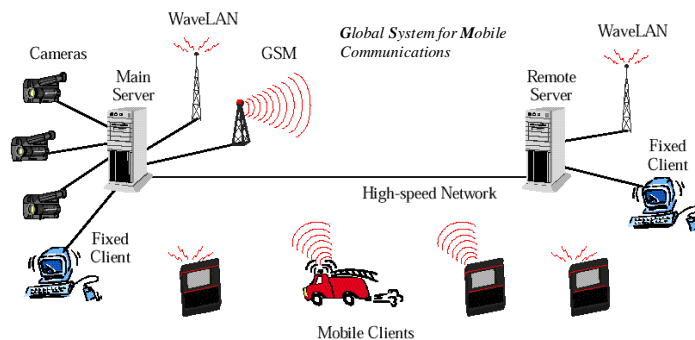
■ Selon la criticité

- **(Très) critiques** : guidage et supervision, télé opération chirurgicale...
- **(Moyennement) critiques** : vidéo conférence, bourse, téléachat
- **Non critiques** : TV, radio, jeux...

■ Selon les timings (temps réel)

- *Streaming* de données audio/vidéo préalablement stockées
- *Streaming* 1-à-m temps réel de données audio-vidéo
- Applications interactives d'audio/vidéo

Multimédia en environnement mobile



■ Applications :

- Pompiers, ambulances, TV, VoD, Web, commerce mobile, jeux...

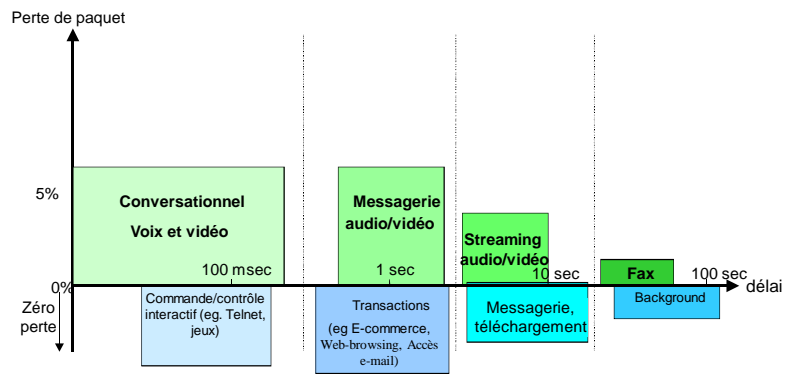
Caractéristiques des applications multimédia

- Manipulation de grandes quantités de données 'continues'
- Des débits minimum sont nécessaires
- Livraison des informations en respectant des timings
- Les applications interactives nécessitent des temps d'aller retour faibles
- Coexistence (et partage de ressources) avec des applications non multimédia
- **Ressources requises :**
 - Processeurs (à haute performance)
 - Serveurs puissants
 - Mémoire principale dédiée (pour la bufferisation par le client)
 - Mémoire disque à grande capacité
 - Bande passante de réseau avec un minimum de **latence**

Exigences des applications multimédia (1/2)

- **Exigences : délai, gigue, débit**
- Les valeurs exigées changent avec l'évolution de l'offre technologique
On ne demande pas les mêmes choses pour une connexion Internet à 56 kb/s qu'à une connexion à 10 Mb/s.
- L'utilisateur (humain) sait à la fois être exigeant et s'adapter à ce qu'on lui offre.
- Tendances actuelles de la demande : des délais de plus en plus courts, des débits de plus en plus élevés, des taux de perte de plus en plus faibles.

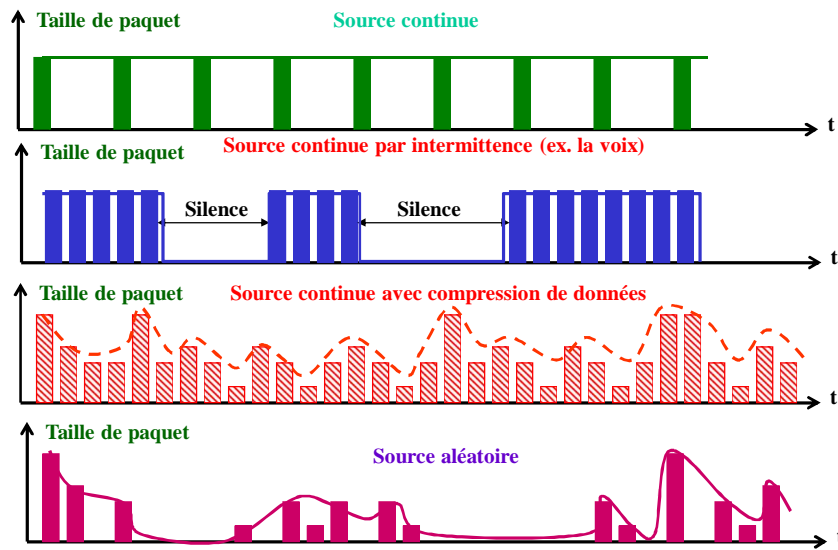
Exigences des applications multimédia (2/2)



Réseaux pour les applications multimédia

- Réseaux longue distance (WAN: wide area networks)
 - Internet classique (best effort)
 - Internet à QoS (réseaux d'entreprise, VPN...)
- Réseaux locaux
 - Wifi et ses extensions
 - Bluetooth, Zigbee
 - ...

3. Modèles de trafic



Communications dans les STRE - Z. MAMMERI

21

Caractérisation de trafic

- Trafic périodique : **aisé** (période + taille max)
- Trafic aperiodique
 - Distribution des instants d'arrivée selon quelle loi (poisson, ...)?
 - Taille maximale des avalanches?
 - Durée minimale d'avalanche?
 - Distribution de la taille des avalanches?
 - Distribution des pertes de messages?
 - Corrélation entre les paquets (pour autoriser les pertes)?
 - **Souvent difficile à modéliser :**
 - choix de paramètres pour "convenance mathématique"
 - **Reste beaucoup à faire pour modéliser le trafic aléatoire/sporadique**

Communications dans les STRE - Z. MAMMERI

22

Chapitre 2

Ordonnancement de messages dans les réseaux locaux

1. Introduction

Problèmes à résoudre pour implanter une application T.R.E

- **Nombre de machines**
- **Choix de réseau(x)**
- **Placement de tâches**
 - **Statique**
 - **dynamique**
 - » **avec migration**
 - » **sans migration**
- **Ordonnancement de tâches (local et distribué)**
- **Ordonnancement de messages**

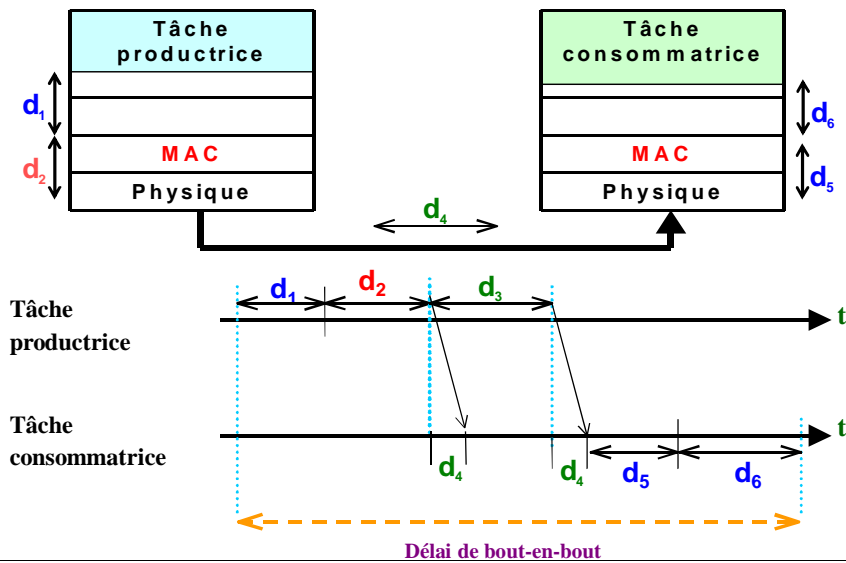
Ordonnancement de messages

- Attribuer le médium de com. de manière à respecter les CT de messages
- Analogie avec l'ordonnancement de tâches
 - Quelle est la prochaine station à utiliser le médium ?
 - Quelle est la prochaine tâche à utiliser le processeur ?
- Adaptation d'algorithmes d'ordonnancement de tâches
- Beaucoup de travaux existent
 - La plupart des travaux concernent **RM**, **EDF** ou **LLF**
- Algorithmes pour messages périodiques et algorithmes pour messages apériodiques

Propriétés d'une stratégie d'ordonnancement de messages

- **Taux d'Utilisation Potentielle (TUP) élevé**
 - ⇒ Test d'ordonnançabilité
 - On sait calculer PCTUP** (pire cas du TUP)
- **Robustesse** (suite à des modifications de paramètres de messages)
- **Tolérance aux fautes**
- **Possibilité de transfert des messages sans contraintes strictes**
- **Surcoût minimal**

Délai de transfert de message dans les réseaux locaux



Communications dans les STRE - Z. MAMMERI

27

2. Protocoles MAC

→ Types de contrôle d'accès

- multiplexage fréquentiel ou temporel
- compétition
- consultation

→ MAC représentatifs

- CSMA/CD (ex. Ethernet commuté),
- CSMA/CA (ex. CAN, WiFi)
- Jeton temporisé (ex. Token bus, FDDI, Token ring)
- Scrutation (ex. WorldFIP)

Communications dans les STRE - Z. MAMMERI

28

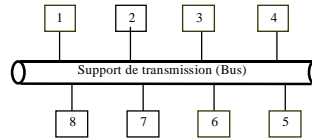
Technique CSMA/CD (IEEE 802.3)

→ Technique par compétition

→ Principe

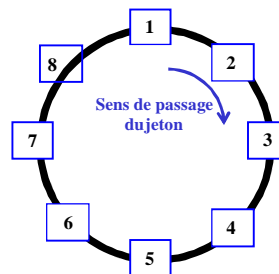
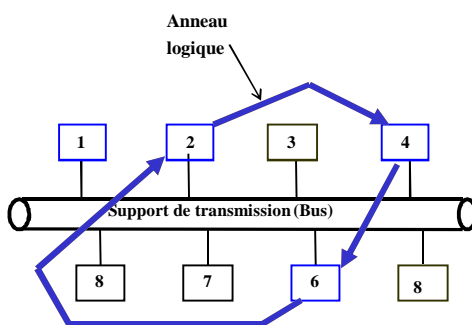
- si le bus est occupé, ajourner la transmission
- si le bus est libre, émettre une trame
- surveiller les collisions pendant la transmission
- retransmettre en cas de collision après attente
- utilisation de l'adresse de station pour déterminer le temps d'attente

→ Autres variantes de CSMA (CA, DCR, ...)



Jeton temporisé (1/2)

→ Sur bus à jeton IEEE 802.4 et boucle FDDI



Jeton temporisé (2/2)

→ Principe

- stations organisées en forme d'anneau (logique ou physique).
- Chaque station i possède un temps SA_i d'occupation du jeton appelé bande passante synchrone.
- Après avoir reçu le jeton, la station i émet ses données et doit libérer le jeton au bout de SA_i . La station émet d'abord ses données synchrones, puis ses données asynchrones s'il lui reste du temps.
- Chaque station passe le jeton à son successeur sur l'anneau.
- Un TTRT (Target Token Rotation Time) est défini à l'initialisation.

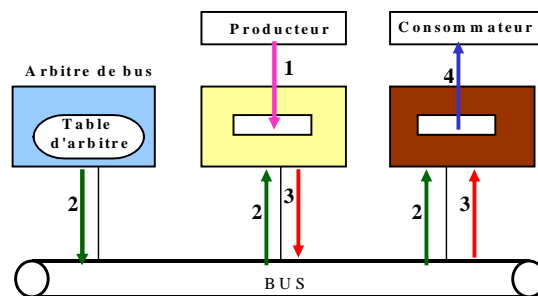
→ Priorités locales

→ Réseaux industriels MAP et Profibus basés sur le bus à jeton

Réseau WorldFIP

(Flux d'Information Processus Factory Instrumentation Protocol)

- Bus à diffusion
- Echange d'objets identifiés et de messages
- Accès centralisé contrôlé par une station maître (arbitre de bus)
- Messagerie avec ou sans acquittement



Réseau CAN (Controller Area Network)

- Bus à diffusion
- Tout objet échangé sur le bus a un identificateur propre
- L'identificateur définit le niveau de priorité de la trame (plus il est petit, plus la trame est prioritaire)
- Accès au médium avec priorité et avec résolution de collisions non destructive : CSMA/CA (CSMA with Collision Avoidance)
- En cas de collision ⇒ l'identificateur le plus petit s'impose
- Les données peuvent être échangées périodiquement, sporadiquement ou sur demande d'un consommateur

3. Ordonnement de messages périodiques

- Messages déterministes (**périodiques/synchrones**)
 - ⇒ toutes les caractéristiques sont connues à l'avance (périodes, longueurs, ...)
- Taux d'utilisation des messages périodiques $U_p = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{C_i}{P_i}$
 - $U_p \leq 1$ ⇒ Nécessaire, mais pas suffisant
- Pratique courante : **Message périodique = Message temps critique**
- Ordonnement réglé par trois approches :
 - Approches fondées sur les priorités (ex. Rate montonic)
 - Approches fondées sur l'allocation de quanta de temps (ex. jeton temporisé)
 - Approches mixtes

Approches fondées sur RM

→ Comment utiliser RM dans les réseaux ?

- Associer des priorités aux messages en fonction de leur période
- Découper chaque message en plusieurs paquets en tenant compte de la longueur optimale du réseau à cause du caractère préemptif de RM
- Implanter RM en tenant compte du MAC du réseau utilisé

→ Sur quels MAC utiliser RM ?

- nécessité d'un mécanisme de priorités globales (IEEE 802.5 ou CAN)
- mal adapté à FDDI, CSMA/CD, ...

Exemple 1 : Utilisation de RM sur la boucle à jeton

- Affecter les priorités aux messages en fonction de leur période
- Grâce au protocole IEEE 802.5, le jeton est affecté au message le plus prioritaire (celui qui a la plus petite période)

⇒ Problèmes d'utilisation de RM avec IEEE 802.5

- Connaissance approximative de l'urgence de messages
- Nombre de niveaux de priorités limité
- Taille des paquets et rendement du réseau

⇒ **Propriétés de RM appliqué à la boucle à jeton**

1. PCTUP O(0.69 - Bmax/Pmin)

Bmax : temps maximal de blocage d'un message par un autre de plus faible priorité

Pmin : minimum des périodes des messages

2. Robustesse : on peut changer les périodes/tailles de messages et l'ensemble reste ordonnançable si le PCTUP est respecté

3. Propagation de fautes : si on diminue la période (ou bien si on augmente la taille) d'un message, tous les messages dont les périodes sont plus grandes que la période de ce message risquent de ne plus voir leurs échéances respectées.

4. Echange de messages sans contraintes strictes : OUI avec des priorités tenant compte de leur urgence

5. Surcoût : peu important

dépend de la longueur et du débit du réseau

Exemple 2 : Utilisation de RM sur CAN

- Les identificateurs des objets déterminent les priorités de transmission des messages
- Application de RM à l'ordonnement d'objets périodiques : associer les identificateurs des objets en fonction de leur période

→ **RM plus adapté à CAN qu'à la boucle à jeton.**

- Identificateurs affectés de manière statique
⇒ la connaissance du message le plus prioritaire est plus exacte
- Identificateurs codés sur 11 bits (voire 29 bits)
⇒ les priorités reflètent bien les périodes
- Un objet identifié = un message
⇒ pas de problème de fragmentation de messages

⇒ Les propriétés de RM sur CAN

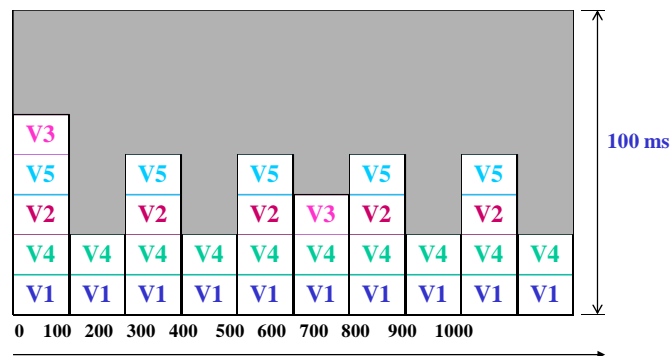
1. PCTUP : **O(69%)**
2. Robustesse : **oui en respectant le PCTUP.**
3. Tolérance aux fautes : **propagation de fautes suite à des modifications des caractéristiques de messages.**
4. Echange de messages sans contraintes strictes : **oui**
(en leur affectant des identificateurs de manière statique).
5. Surcoût : **négligeable** (la fonction d'arbitrage se fait pendant que les messages sont transmis et sans détruire le message qui finit par s'imposer sur le bus).

Exemple 3 : Ordonnement de messages dans FIP

→ Table de scrutation = séquence d'ordonnement calculée hors ligne

Exemple

Variable	Période
V1	100 ms
V2	200 ms
V3	500 ms
V4	100 ms
V5	200 ms



→ Durée de Microcycle = $\text{Min}\{P_i, i=1, \dots, n\}$

Durée de Macrocycle = $\text{PPCM}\{P_i, i=1, \dots, n\}$

⇒ Propriétés de l'ordonnancement avec FIP

1. PCTUP

en théorie :
$$\sum_{i=1}^{i=n} \frac{X_i}{P_i} \leq 1$$

en pratique : il dépend de la distribution des périodes

2. Robustesse : **modification** ⇒ **reconfiguration du réseau**

3. Tolérance aux fautes :

Pas de modification en ligne des caractéristiques de messages

Fautes de l'arbitre de bus ⇒ **compromettre toute l'application**

4. – Transfert de variables/messages apériodiques :

Sans considération de contraintes de temps

5. Surcoût :

important pour les messages de service

négligeable pour les traitements

Approches fondées sur l'allocation de quanta de temps

→ Travaux portés principalement sur le jeton temporisé

→ Le respect des CT dépend de l'allocation la bande synchrone

→ **Conditions nécessaires pour le calcul du TTRT**

$$\sum_{i=1}^{i=n} SA_i \leq TTRT$$

$$TTRT \leq \frac{\min\{P_i, i=1, \dots, n\}}{2}$$

$$SA_i \geq \frac{C_i}{\lceil \min(D_i, P_i) / TTRT \rceil - 1}$$

→ Allocation de la bande synchrone (Travaux d'Agrawal)

- Allocation pour un message complet : $SA_i = C_i$
- Allocation équitable : $SA_i = (TTRT - \alpha) / n$
- Allocation proportionnelle : $SA_i = (TTRT - \alpha) \times \frac{C_i}{P_i}$
- Allocation proportionnelle normalisée : $SA_i = (TTRT - \alpha) \times \frac{C_i}{P_i} / \sum_{i=1}^{i=n} \frac{C_i}{P_i}$
- Autres

⇒ Propriétés de l'ordonnement avec le jeton temporisé

1. PCTUP

- Allocation pour un message complet **0**
- Allocation équitable **33%**
- Allocation proportionnelle **0**
- Allocation proportionnelle normalisée **33%**

	P_i	C_i
m_1	10	1
m_2	10000	100

$U_p = 11\%$



2. Robustesse : oui en respectant le PCTUP

Pour la 4ème technique, si on change une caractéristique de message \Rightarrow recalculer tous les temps d'allocation des stations.

3. Tolérance aux fautes :

plus tolérante aux fautes que l'approche fondée sur l'arbitrage d'accès.

4. Les messages sans contraintes de temps strictes transmis sans les favoriser en fonction de leur urgence au niveau global.

5. Surcoût :

**Plus faible que celui engendré par l'approche fondée sur l'arbitrage d'accès.
Pas de fragmentation pour la première technique d'allocation**

4. Ordonnancement de messages apériodiques

\rightarrow Arrivée "aléatoire"

\rightarrow Message arrivé \Rightarrow échéance et longueur connues

\rightarrow Garantie des contraintes \Rightarrow Connaissance sur la loi d'arrivée
intervalle minimal d'arrivée, taille maximale

\rightarrow Taux d'utilisation nécessaire pour les messages apériodiques :

$$U_A = \lambda * C$$

λ : taux moyen d'arrivée des messages

C : durée moyenne de transmission des messages

Taux d'utilisation réel $> U_A \Rightarrow$ Non respect de CT

→ Arrivée aléatoire des messages apériodiques ⇒

- Ordonnancement dynamique
- Plus de difficultés pour garantir les CT
- Stratégie de garantie : pas possible ou non désirable
- Stratégie du meilleur effort : souvent utilisée
- Domaine de recherche active

→ Messages apériodiques = Messages sporadiques + autres

→ Pratique courante :

SI **M** est apériodique et **temps critique** ALORS **M** “devient” périodique
SINON accepter que **M** rate son échéance.

Stratégie de garantie pour messages apériodiques

→ Utilisée pour les messages apériodiques à **contraintes strictes**

→ Trois méthodes principales sont utilisées

- **Serveur périodique** messages **critiques**
- **Réservation dynamique** messages **non critiques**
- **Estimation avec conservation** messages **non critiques**

Méthode du serveur périodique

→ Principe :

Associer un serveur périodique à chaque source de message apériodique
⇒ message apériodique \cong message périodique

→ Méthode simple (surcoût limité)

→ Méthode pénalisante en terme d'utilisation du réseau

Méthode de réservation dynamique

→ Principe :

- A l'arrivée d'un message apériodique, réserver le canal pour ce message
- La réservation du canal se fait en demandant aux autres stations, par envoi d'un message de réservation, de ne pas utiliser le canal pendant un certain intervalle de temps donné.
- Si la réservation réussit, les CT du message seront respectées, sinon le message est rejeté et l'émetteur est averti.
- L'introduction d'un message apériodique ne doit pas remettre en cause le respect des CT des messages déjà acceptés.

→ Un surcoût pouvant être important

→ Mal adaptée aux situations de surcharge

Méthode d'estimation conservatrice

→ **Principe :**

- Dès l'arrivée d'un message aperiodique, calculer le PCTM (pire des cas pour transmettre ce message). Si l'échéance du message est < au PCTM, alors les CT du message peuvent être garanties. Sinon, le message est rejeté et la couche supérieure est avertie.
- L'introduction d'un message aperiodique ne doit pas remettre en cause le respect des CT des messages déjà acceptés.

→ **La méthode exige un protocole avec un temps d'accès borné.**

→ **Méthode simple avec surcoût limité (pas de messages de service)**

→ **Mal adaptée aux situations de surcharge.**

Méthode du meilleur que le meilleur effort fondée sur les priorités

→ **Objectif :**

minimiser le nombre de messages aperiodiques qui dépassent leurs échéances

→ **Algorithmes d'ordonnement de tâches :**

- EDF (Earliest Deadline First)
- MLF (Minimum Laxity First)

$$\text{Laxité}_{\text{MAC}}(t) = t_{\text{arrivée}_{\text{MAC}}} + \text{Echéance}_{\text{MAC}} - D3 - D4 - t$$

D3 : délai d'émission, **D4** : délai de propagation

Si $\text{Laxité}_{\text{MAC}}(t) = 0$, transmettre immédiatement le message

Exemple 1 : Utilisation de EDF avec le réseau CAN

- Définir les identificateurs des objets de manière “dynamique”
 - Une première partie de l’identificateur correspond à l’identificateur de l’objet connu au niveau application
 - Une seconde partie de l’identificateur est calculée à partir de l’échéance du message.

- Le récepteur se base sur la première partie des identificateurs pour reconnaître les objets qui l’intéressent.

- Le message apériodique le plus urgent a l’identificateur le plus petit ; il est donc transmis en priorité.

Exemple 2 : Utilisation de MLF avec CSMA/CD

→ Principe

- La laxité est calculée pour chaque message
- Lorsque le bus est libre, une station qui a un message à transmettre attend pendant une durée proportionnelle à la laxité de son message
- Après attente, si le bus n’est pas libre, il faut attendre de nouveau la libération du bus et réitérer l’opération d’attente en fonction de la laxité du message.
- Après attente, si le bus est libre, la station émet son message. S’il n’y a pas de collision, le message est émis en respectant ses CT, sinon le message est perdu (car il y a une autre station qui a commencé à émettre un message de même laxité). En cas de collision, un mécanisme de résolution de collision est mis en place (attente en fonction de la laxité et de l’adresse de la station, ...)
- Si $\text{laxité} < 0$, écarter le message.

- Pas de niveaux de priorités ⇒ la laxité exprime bien l'urgence de message
- Technique mal adaptée en cas de surcharge
- Attente inutile
- La longueur du réseau affecte les laxités des messages (plusieurs messages de laxité voisines, mais différentes, peuvent entrer en collision)

Exemple 3 : MLF avec fenêtre temporelle sur boucle à jeton (FDDI ou autre)

→ Principe

- Jeton contenant les bornes d'une fenêtre temporelle et un compteur.
La borne inférieure de la fenêtre = instant courant.
- Quand le jeton est reçu, la station incrémente le compteur, si elle a un message à transmettre dans la fenêtre temporelle spécifiée.
- Après un tour complet du jeton, le jeton revient à la station source.
 - compteur = 0 ⇒ fenêtre temporelle déplacée sur l'axe du temps et émission d'un jeton avec une nouvelle fenêtre
 - compteur = 1 ⇒ le jeton est transmis à la station qui a le message le plus urgent à transmettre.
 - compteur > 1 ⇒ la fenêtre temporelle est rétrécie et un jeton avec la nouvelle fenêtre est mis en circulation.
- Quand la station qui possède le jeton transmet son message, elle émet juste après un jeton avec une nouvelle fenêtre temporelle.

- Pas besoin d'utiliser des priorités dont le nombre est limité
- Nécessité d'avoir un jeton modifié ou un protocole réalisant le jeton
- Surcoût important pour l'arbitrage

Stratégie du meilleur que le meilleur effort fondée sur les quanta de temps

- **Objectif**
Fixer le temps d'utilisation du canal de manière à minimiser le nombre total de messages qui ratent leur échéance.
- **Principe**
 - Idée de base : vaut mieux transmettre une information approximative que rien du tout
 - Plusieurs versions avec des quantités d'informations différentes sont associées à chaque message
 - Quand la charge est faible, envoyer la version la plus longue
Quand la charge est élevée, envoyer la version la plus courte

→ **Stratégie de choix d'une version de message**

1- Mesure de la charge du réseau en fonction du nombre de messages en attente. Sélection de la version de message en fonction de la charge mémorisée.

- + **Technique pas toujours efficace.**
- **Surcoût peu important.**

2- Connaître ce qui s'est passé pendant un intervalle de temps donné (nombre de messages qui n'ont pas respecté leur CT, nombre de collisions, ...). Sélection de la version de message en fonction du passé récent.

- + **Technique efficace.**
- **Surcoût important.**

3- Autres.

5. Conclusion

→ **Adaptation d'autres algorithmes d'ordonnement de tâches et prise en compte d'autres contraintes (délai \neq période, gigue, ...)**

→ **Le MAC sous-jacent a une influence directe sur le choix de l'algorithme d'ordonnement.**

Y a-t-il un MAC temps réel ?

→ **Considérer les délais de traversée des couches supérieures**

- changer les protocoles
- étendre les services (services orienté temps réel et services non orienté temps réel)

→ **Beaucoup reste à faire en recherche de bonnes stratégies d'ordonnement de messages temps réel (réseaux sans fil, réseaux de capteurs, réseaux MANETs...)**

Chapitre 3

Synthèse des principaux réseaux de terrain – Années 1980-2000

1. Critères pour appréhender les RLI

→ Aspects liés à la couche physique

- Topologie (bus, boucle, arbre, étoile, etc.)
- Type de support de transmission (P. torsadée, câble Coax, ...)
- Redondance du support de transmission
- Alimentation des nœuds par les lignes de communication
- Type d'isolement, précaution d'installation
- Conditions environnementales (température, feu, nucléaire, choc thermique ou mécanique, corrosion, ...)
- Type de codage de bit (NRZ, NRZI, Manchester, etc.)
- Type de transmission (en bande de base ou avec modulation)
- Type de modulation (amplitude, phase, fréquence, ...)
- Longueur maximale du réseau avec ou sans répéteurs
- Distance maximale et minimale entre deux nœuds voisins
- Débit maximum
- Sécurité de transmission

1. Critères pour appréhender les RLI

→ Aspects liés à la couche liaison de données

- Méthode d'accès au réseau (maître/esclave, jeton, etc.)
- Type de communication (point à point, diffusion)
- Type d'adressage (objet ou nœud)
- Taille des messages et de l'information utile dans les messages
- Garantie ou non de temps de communication borné
- Mode de connexion (avec ou sans)
- Mécanisme d'acquiescement, mécanisme de contrôle d'erreur
- Mécanisme de contrôle de flux

→ Aspects liés à la couche Application

- Il s'agit de services offerts au niveau application.
- Certains réseaux de terrain n'offrent aucun service, d'autres offrent des services de base de type lecture ou écriture de variable à distance et d'autres encore offrent des applications quasiment toutes faites et qu'il faut seulement paramétrer pour un usage donné.

1. Critères pour appréhender les RLI

→ Aspects économiques, stratégiques et autres

- Coûts des différents éléments du réseau (installation des câbles, cartes réseau, logiciels, formation ...)
- Facilité/difficulté de développement des applications qui vont utiliser le réseau
- Facilité/difficulté de maintenance du réseau et des applications
- Ouverture du réseau pour rajouter des équipements, augmenter les distances, modifier des protocoles, etc.
- Interopérabilité avec d'autres réseaux (en général, dans un système complexe, il y a plusieurs réseaux)
- Existence de normes nationales ou internationales pour le réseau,
- Pérennité des investissements
- Notoriété des constructeurs et vendeurs des composants du réseau

2. Synthèse des principaux RLI

→ Acronymes des RLI

- ARINC (Aeronautical Radio Inc.)
- ARCNET(Attached Resource Computer NETwork)
- ASI (Actuator Sensor Interface)
- CAN (Controller Area Network)
- DH+ (Data Highway Plus)
- DOD-STD-1773 (Standard of US DoD)
- EHS (European Home System)
- EIB (European Installation Bus)
- HSDB (High Speed Data Bus)
- HSE (High Speed Ethernet)
- LonWorks (Local Operating Network)
- MIL-STD 1553 (Military StanDard)
- SERCOS (Serial RealTime Communication System)
- SDS (Smart Distributed System)
- VAN (Vehicle Area Network)
- WorldFIP (Factory Instrumentation Protocol)

2. Synthèse des principaux RLI

Réseau	Fabricant	Année	Standards	Principaux secteurs d'utilisation
ARCNET	Datapoint	1977	ANSI/ATA 878	Systèmes automatisés
ARINC 429	SBS Techno.	1977	Aeronautical Radio Inc.	Avionique civil
ARINC 629	Ballard Techno.	1989	Aeronautical Radio Inc.	Avionique civil
ARINC 659	Honeywell Inc	1991	Aeronautical Radio Inc.	Avionique civil
ASI	ASI Consortium	1993	IEC 62026-2	Capteurs et actionneurs
BatiBus	Merlin Gerin	1980	NFC 46.620-629	Bâtiment
BitBus	Intel	1983	IEEE-1118, RS485	Systèmes automatisés, bâtiment
CAN	Bosch - Intel	1995	ISO 11898 &11519	Automobile, Systèmes automatisés
ControlNet	Rockwell auto.	1995		Systèmes automatisés
EHS		1992		Domotique
EIB	ABB, Siemens	1980's	ENV 50090	Bâtiment et domotique
Fieldbus HI	Fieldbus Found.	1995	ISA SP50/IEC 61158	Systèmes automatisés
Fieldbus HSE	Fieldbus Found.	2000	IEEE 802.3, IEC 61158	Systèmes automatisés
HSDB	Jane's Defense	1991		Avionique militaire
IEC/ISA SP50	Fieldbus Fd.	1992	IEC 1158, ANSI/ISA-50	Systèmes automatisés
Interbus	Phoenix Contact	1984	IEC-1131, EN 50.254	Systèmes automatisés
LonWorks	Echelon Corp	1991	ANSI/EIA 709.1	Systèmes automatisés, Bâtiment
MIL-STD-1553	PowerCom	1973	STD 1553 (DoD US)	Avionique militaire
MIL-STD-1773	Condor Engin.	1989	STD 1773 (DoD US)	Avionique militaire
Modbus+	AEG Schneider	1980's		Systèmes automatisés
P-Net	Process Data	1983	EN 50170, RS485	Systèmes automatisés
PROFIBUS	Siemens	1988	EN 50170, IEC 1158-2	Systèmes automatisés
SERCOS	SGS-Thomson	1990's	IEEE 1491	Systèmes automatisés
VAN	Divers	1980	ISO 11519-2	Automobile
WorldFIP	WorldFIP	1988	IEC 1158-2, EN 50170	Systèmes automatisés

2. Synthèse des principaux RLI

Réseau	Topologie	Support de transmission	Nombre max de nœuds	Distance maximale
ARCNET	Etoile, bus	Coax, P. torsadée, Fibre op.	255	Dépend du débit.
ARINC 429	Bus, étoile	P. torsadée	20	300 pieds (90 m)
ARINC 629	Bus	P. torsadée, Fibre op.		100 m
ARINC 659	Bus	P. torsadée, Fibre op.		
ASI	Libre	P. torsadée	1 maître + 31 esclaves	100 m (sans répéteur)
BatiBus	Bus, étoile, anneau	P. torsadée	75	2 km
BitBus	Bus, arbre	P. torsadée, Fibre op.	251 (avec répéteur)	Dépend du débit et du support.
CAN	Bus, arbre	Coax, P. orsadée, Fibre op.	127 (avec répéteur)	Dépend du débit
ControlNet	Libre	Coax, Fibre op.	99	Dépend du nombre de nœuds
EHS	Bus, étoile	Tout type	256 par sous-réseau	
EIB	Bus, arbre, étoile	P. de fils, Réseau d'alim., Radio, Infrarouge	64 k	Dépend du support.
Fieldbus H1	Arbre, bus	P. torsadée, Fibre op.	240 par segment	Dépend du débit
Fieldbus HSE	Etoile	P. torsadée, Fibre op.	illimité	Dépend du débit et du support.
HSDB	Bus, étoile	P. torsadée, Fibre op.	16	
IEC/ISA SP50	Etoile, bus	P. torsadée, Fibre op., Rad.	128	Dépend du débit
Interbus	Anneau	P. torsadée, Fibre op.	512	12,8 km au total
LonWorks	Bus, boucle, étoile	P. torsadée, Fibre op., ligne de tension	127*255	Dépend du débit et du support.
MIL-STD-1553	Bus	P. torsadée	31	
MIL-STD-1773	Bus, étoile	Fibre op.	31	
Modbus+	Bus	P. torsadée	64	1800 m au maximum
P-Net	Bus, anneau	P. torsadée	125 (dont 32 maîtres)	6 km (avec répéteurs)
PROFIBUS	Bus, arbre	P. torsadée, Fibre op.	127	Dépend du débit et du support
SERCOS	Anneau	Fibre op.	254	250 m (avec fibres en verre)
VAN	Bus, anneau, arbre	Libre	Dépend de la longueur	100 m
WorldFIP	Bus, étoile, arbre	P. torsadée, Fibre op.	256	4 km (avec répéteurs)

Communications dans les STRE - Z. MAMMERI

67

2. Synthèse des principaux RLI

Réseau	Méthode de communication	Débit maximum	Taille maximum de données
ARCNET	Passage de jeton	10 Mb/s	507 octets
ARINC 429	Réseau ayant un seul émetteur	100 kb/s	Mot de 32 bits
ARINC 629	TDMA	2 Mb/s	
ARINC 659	TDMA	30 Mb/s	1024 octets
ASI	Maître/esclave avec scrutation cyclique	167 kb/s	8 bits par nœud
Batibus	CSMA/CA	4,8 kb/s	
BitBus	Maître/esclave	2,4 Mb/s	248 octets
ControlNet	Multiplexage temporel (CTDMA)	5 Mb/s	510 octets
CAN	CSMA/CR	1 Mb/s	8 octets
EHS	CSMA/CA	48 kb/s	
EIB	CSMA/CA	10 Mb/s	256 octets
Fieldbus H1	Maître-esclave avec scrutation cyclique	31,25 kb/s	128 octets
Fieldbus HSE	CSMA/CD	100 Mb/s	
HSDB	Passage de jeton	50 Mb/s	9192 octets
IEC/ISA SP50	Passage de jeton ou maître	5 Mb/s	256 octets
Interbus	monomaître + TDMA	500 kb/s	
LonWorks	CSMA p-persistante	1,25 Mb/s	228 octets
MIL-STD 1553	Maître/esclave	1 Mb/s	64 octets
MIL-STD-1773	Maître/esclave	20 Mb/s	64 octets
Modbus+	Passage de jeton	1 Mb/s	256 octets
P-Net	Multi-maître/Multi-esclave + jeton virtuel entre maîtres	76,8 kb/s	56 octets
PROFIBUS	Multi-maître/Multi-esclave avec passage de jeton entre maîtres.	12 Mb/s	244 octets
SERCOS	Maître/esclave	2 Mb/s	
VAN	CSMA/CA	10 Mb/s	28 octets
WorldFIP	Contrôle par un arbitre de bus	5 Mb/s	128 octets

Communications dans les STRE - Z. MAMMERI

68