

ENSEIRB

LES RESEAUX DE TERRAIN

Patrice KADIONIK

email : kadionik@enseirb.fr
http : <http://www.enseirb.fr/~kadionik>

ENSEIRB

Les réseaux de terrain



© pk/enseirb/2003 v3.1

- 1 /243 -

SOMMAIRE

ENSEIRB

Les réseaux de terrain



© pk/enseirb/2003 v3.1

- 2 /243 -

Sommaire

PARTIE I : CONSIDERATIONS TECHNIQUES

1. LES OBJECTIFS DE LA FORMATION
2. QU'EST CE QU'UN BUS DE TERRAIN ?
3. AVANTAGES ET INCONVENIENTS
4. L'ANCETRE : LA BOUCLE DE COURANT 4-20 mA
5. LA NORMALISATION DES BUS DE TERRAIN : UN ACCOUCHEMENT DIFFICILE
6. LE DECOLLAGE DU BUS DE TERRAIN
7. INFORMATIONS TECHNIQUES GENERALES SUR LES BUS DE TERRAIN. SOLUTION 0 : FF

Toutes les marques et noms cités dans ce document sont déposés TM et/ou enregistrés [®] par leur propriétaire respectif

Sommaire

PARTIE II : ETAT DE L'ART

1. SOLUTION WorldFIP
2. SOLUTION INTERBUS
3. SOLUTION CAN
4. SOLUTION LonWorks
5. SOLUTION PROFIBUS
6. SOLUTION ETHERNET

PRISE EN COMPTE DE LA CONNECTIVITE A INTERNET

CONCLUSION. PERSPECTIVES

PARTIE I :

LES BUS DE TERRAIN

- CONSIDERATIONS TECHNIQUES -

1. LES OBJECTIFS DE LA FORMATION



WorldFIP

i D A

Les objectifs de la formation

ISO

INTERBUS

EtherNet/IP



MAC

PROFIBUS

CSMA/CD

LLC

OSI

DEVICENET



CSMA/CA



LON



CAN

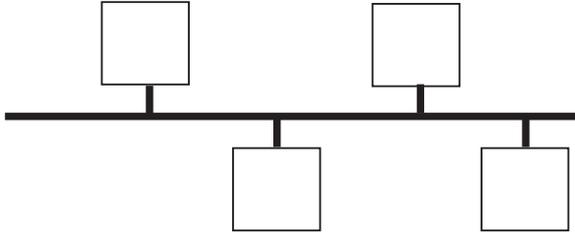


- ✓ DEFINITION DU CONCEPT «BUS DE TERRAIN» POUR ACQUERIR LES BASES NECESSAIRES PERMETTANT DE FAIRE SON CHOIX EN FONCTION DE SON PROPRE BESOIN
- ✓ ETAT DE L'ART : PRESENTATION DES SOLUTIONS WorldFIP, CAN, INTERBUS, LONWORKS, PROFIBUS ET ETHERNET

- ❑ **TERRAIN** : indique quelque chose de limité ou délimité géographiquement (usine, atelier, voiture...)
- ❑ **BUS** : au sens informatique industrielle, conducteur ou ensemble de conducteurs communs à plusieurs circuits permettant l'échange de données entre eux
 - ☞ liaisons communes
 - ☞ plusieurs circuits
 - ☞ référence à la topologie de la configuration
- ❑ **RESEAU** : ensemble de lignes de communication qui desservent une même unité géographique
 - ☞ niveau d'abstraction supérieur (gestion, diagnostics, maintenance...)

- ❑ **TOPOLOGIE DIFFERENTE**
 - ☞ participants multiples
 - ❑ **LIAISON DIFFERENTE**
 - ☞ Liaison point à point → Liaison multipoint
- 

(ex RS 232/V.24)


- ❑ **COMMUNICATIONS DIFFERENTES**
 - ☞ Communications Maître/Esclave → Communications multimaître
 - ☞ Potentialité de conflits d'accès

❑ BUS / RESEAU DE TERRAIN :

- ☞ Terme générique d'un nouveau réseau de communication *numérique* dédié
- ☞ Réseau bidirectionnel, multibranche («multidrop»), série reliant différents types d'équipements d'automatisme :
 - E/S déportées
 - Capteur / Actionneur
 - Automate programmable
 - Calculateur
- ☞ Réseau de communication plus général entre équipements déportés

❑ BUT INITIAL :

- ☞ Remplacement des boucles *analogiques* de courant 4 - 20 mA

❑ MAIS AUSSI :

- ☞ Distribution (décentralisation) du contrôle, du traitement des alarmes, diagnostics au différents équipements de terrain
- ☞ Intelligence déportée au niveau de ces équipements
- ☞ Interopérabilité (système ouvert ?)

- Augmentation de l'efficacité (précision, formalisation des échanges entre équipements)
- Diminution des coûts (réutilisation possible du câblage existant, moins de «filasse»)
- Augmentation globale de la qualité

3. AVANTAGES ET INCONVENIENTS

☐ PRINCIPAL AVANTAGE : *Réduction des coûts*

☐ REDUCTION DES COUTS INITIAUX

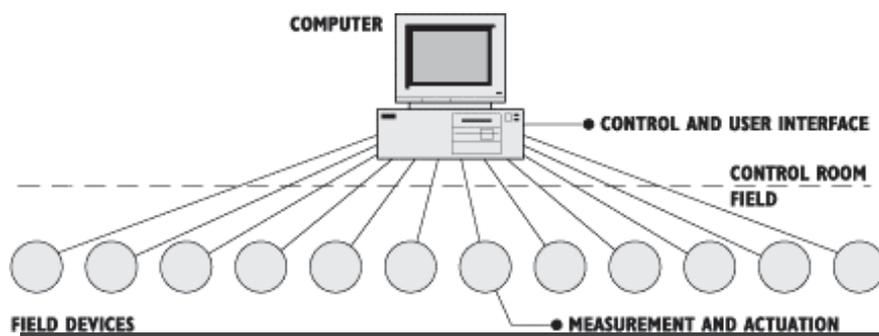
- ☞ Réduction massive du câblage : 1 seul câble en général pour tous les équipements au lieu d'un par équipement
- ☞ Possibilité de réutiliser le câblage analogique existant dans certains cas
- ☞ Réduction du temps d'installation
- ☞ Réduction du matériel nécessaire à l'installation

☐ REDUCTION DES COUTS 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 (analyseur...)
- ☞ Flexibilité pour l'extension du bus de terrain et pour les nouveaux raccordements

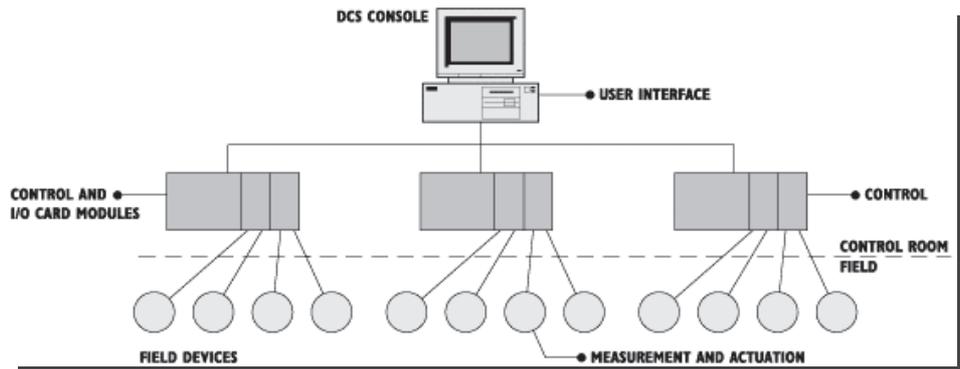
☐ PERFORMANCES GLOBALES ACCRUES

- ☞ 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 2 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



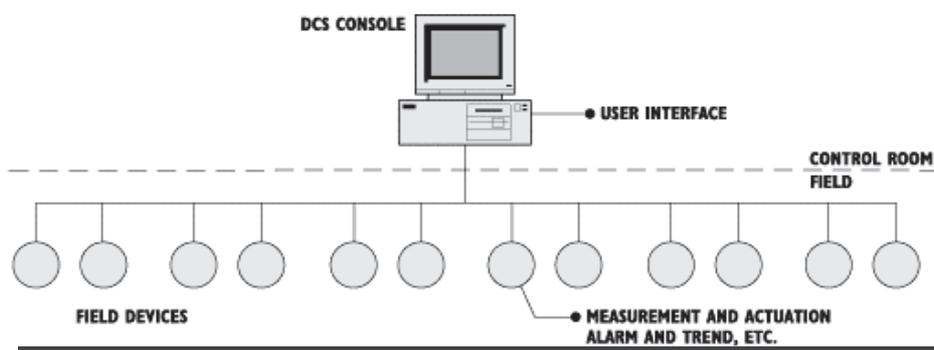
source : SMAR

Etape 1 : système de contrôle direct : contrôle centralisé vers
1 seul ordinateur dans la pièce de contrôle



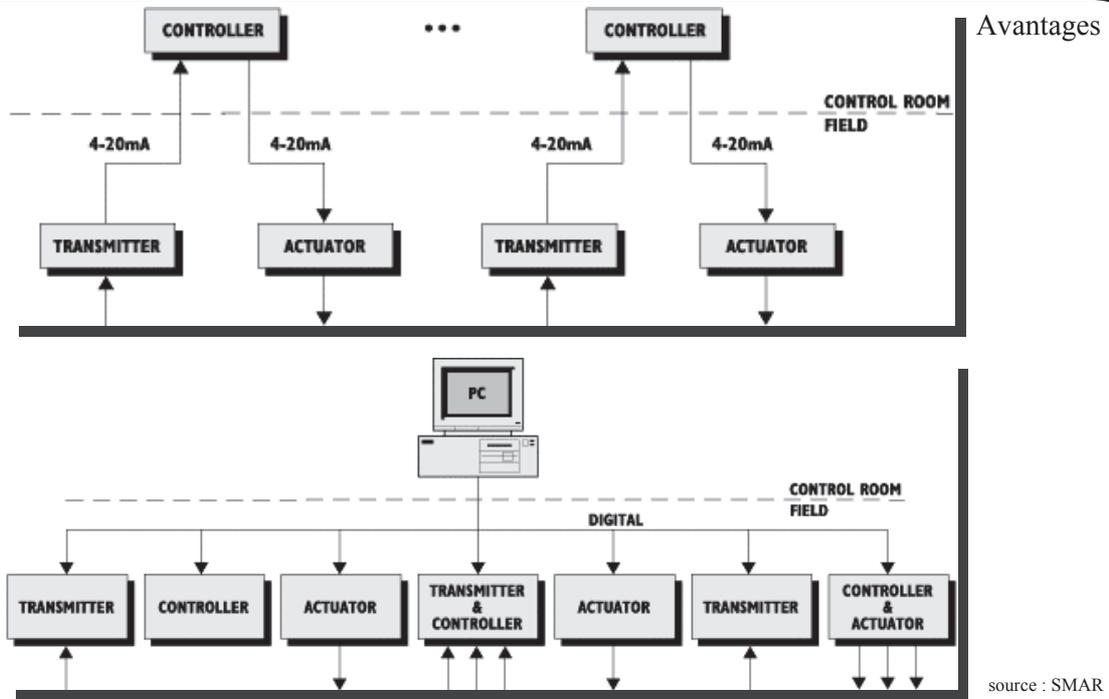
source : SMAR

Etape 2 : système de contrôle distribué : le contrôle est partiellement distribué à quelques cartes de contrôle dans la pièce de contrôle



source : SMAR

Etape 3 : système bus de terrain : contrôle totalement distribué sur le terrain



Avantages

source : SMAR

Passage de la boucle de courant analogique 4-20 mA au bus de terrain

Avantages

☐ AUTRES AVANTAGES

- ☞ Interopérabilité importante grâce au soucis de *standardisation* (système ouvert) aux niveaux hard et soft
 - ✓ Choix pour l'utilisateur final : prix, performances, qualité...
 - ✓ Le standard profite à l'utilisateur et non pas au vendeur
 - ✓ Possibilité de connexion d'équipements de différents fournisseurs respectant le même standard
 - ✓ Echange de données par des mécanismes standards (*protocoles*)
- ☞ Modélisation objet des équipements et de leur fonctionnalité : modèle de bloc fonctionnel aidant l'utilisateur à créer et superviser son bus de terrain

Topologie physique ↔ Vue logique

- Connaissances supérieures
 - ☞ Accès au bus : conflit, arbitrage, temps de latence...
 - ☞ Sécurité des informations transportées : gestion des erreurs
 - ☞ Topologie, longueur, débit
 - ☞ Supports physiques

- Investissement en équipements et accessoires (monitoring, maintenance)
 - ☞ Coûts apparemment supérieurs

- Compatibilité totale entre équipements de fournisseurs différents ?

- Choix entre solutions propriétaires et standards

4. L'ANCETRE : LA BOUCLE DE DE COURANT 4-20 mA

- La boucle analogique de courant 4-20 mA est l'ancêtre du réseau de terrain apparu dans les années 60
- C'est donc un réseau de transmission de données **analogiques**
- Il n'a pas été complètement normalisé (notamment au niveau connectique...)

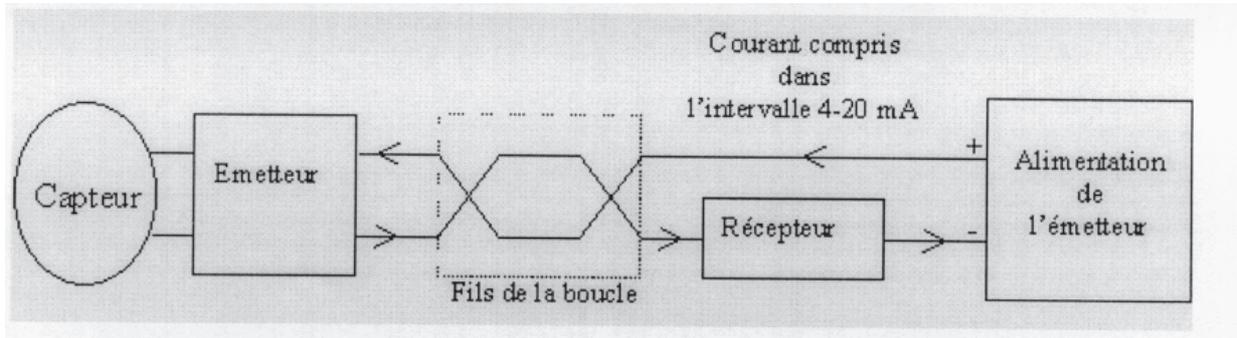
BUT

La boucle de de courant 4-20 mA est un moyen de transmission permettant de transmettre un signal **analogique** sur une grande distance sans perte ou modification (notable) de ce signal

- On a toujours eu un besoin de transmettre un signal analogique depuis le capteur (analogique)
- Au début les ingénieurs ont eu de grandes difficultés à trouver un signal électrique qui pouvait être transmis sur des fils sans introduire des erreurs. L'utilisation d'une simple variation de tension n'était pas assez fiable car un changement dans la longueur et la résistance des fils avait pour conséquence de modifier la valeur mesurée
- Lorsque la boucle 4-20 mA est arrivée, elle est rapidement devenue le standard car elle a pu être très précise et ne pas être affectée par la résistance des fils et par les variations de la tension d'alimentation

REALISATION

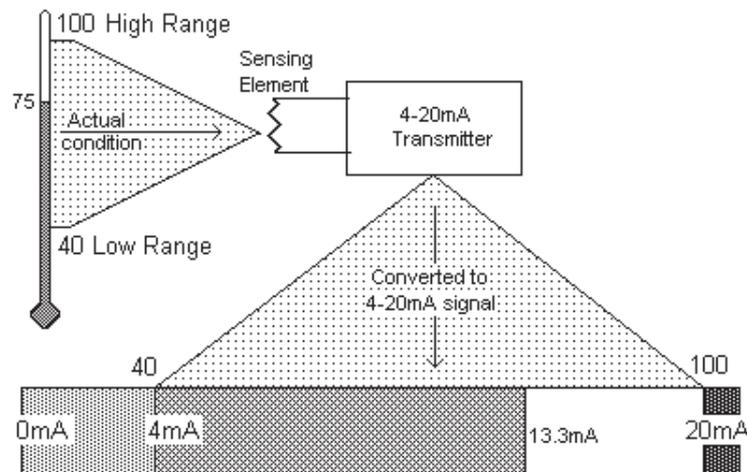
- Pour réaliser la boucle 4-20 mA, il faut au moins 4 éléments :
 - ✓ l'émetteur
 - ✓ l'alimentation de la boucle
 - ✓ les fils de la boucle
 - ✓ le récepteur
- Ces 4 éléments sont connectés ensemble pour former une boucle



Architecture d'une boucle de courant 4-20 mA

L'ÉMETTEUR

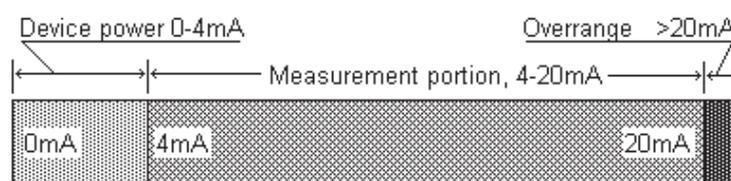
- L'émetteur est composé d'un capteur qui va mesurer les grandeurs physiques comme la température, la pression... et d'un émetteur de courant 4-20 mA
- L'émetteur convertit la valeur mesurée par le capteur en un courant compris dans l'intervalle 4-20 mA
- On a un courant de 4 mA pour la première valeur de l'échelle de mesure du capteur et 20 mA pour la dernière mesure du capteur
exemple : si on a un capteur qui doit mesurer une température de 40 °C à 100 °C, 4mA correspondra à 40 °C et 20 mA à 100 °C
- Si on lit 0 mA, la boucle ne fonctionne plus ou il y a une erreur dans la boucle



Conversion d'une température 40-100 °C par utilisation d'une boucle de courant 4-20 mA

L'ALIMENTATION

- L'émetteur doit être alimenté pour fonctionner. Ceci est réalisé à l'aide des deux fils de la boucle
- Le courant de 0 à 4 mA de la boucle sert pour l'alimentation du circuit émetteur (l'émetteur doit donc consommer moins de 4 mA)
- La plupart des émetteurs sont alimentés en 24 V mais certains de bonne qualité n'ont besoin que de 12V



LES FILS DE LA BOUCLE

- Deux fils relient tous les composants ensemble
- Il y a quatre conditions pour le choix de ces fils :
 - très faible résistance
 - bonne protection contre la foudre
 - ne pas subir de tension induite par un moteur électrique ou un relais
 - avoir également une seule mise à la masse, plusieurs masses rendraient la boucle inopérante car une petite fuite de courant de masse dans la boucle risquerait d'affecter l'exactitude de la boucle

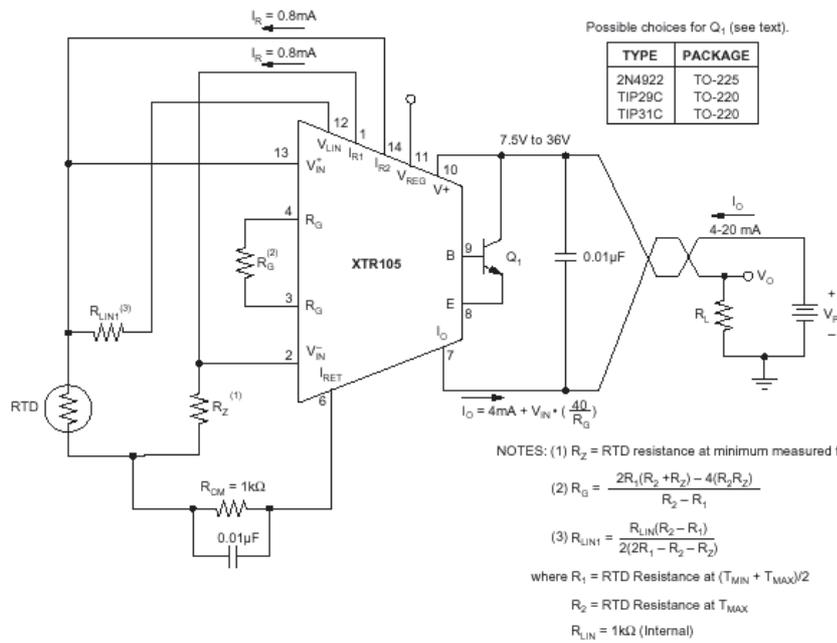
LE RECEPTEUR

- On a au moins un récepteur dans la boucle (afficheur digital, une table d'enregistrement...)
- Ils se comportent tous comme une charge résistive
- Il peut y avoir plus d'un récepteur dans la boucle tant qu'il y a assez de tension pour alimenter la boucle

- Si l'on prend par exemple une résistance d'entrée de 250 ohms pour un récepteur, on perdra 5V à cause de la tension développée aux bornes de la résistance pour un courant de 20 mA
- De même un courant de 4 mA causera une chute de tension de 1V
- Si l'on prend trois récepteurs avec une résistance d'entrée égale à 250 ohms, on aura une perte total de tension maximale de $3 \times 5 = 15V$ pour un courant de boucle de 20 mA
- L'alimentation de la boucle devra fournir ces 15V en plus de la tension nécessaire pour le fonctionnement de l'émetteur et des pertes (négligeables) dues à la résistance du fil.

INSTALLATION ET TESTS DE LA BOUCLE

- Pour installer la boucle, il suffit de relier en série l'émetteur, l'alimentation et le récepteur avec le fil
- Après avoir alimenté la boucle et avoir inséré un milliampèremètre, on doit lire un courant d'une valeur comprise entre 4 et 20 mA dépendant de la sortie de l'émetteur
- Il existe des appareils pour tester la boucle affichant précisément le courant de la boucle qui simule l'émetteur ou le récepteur

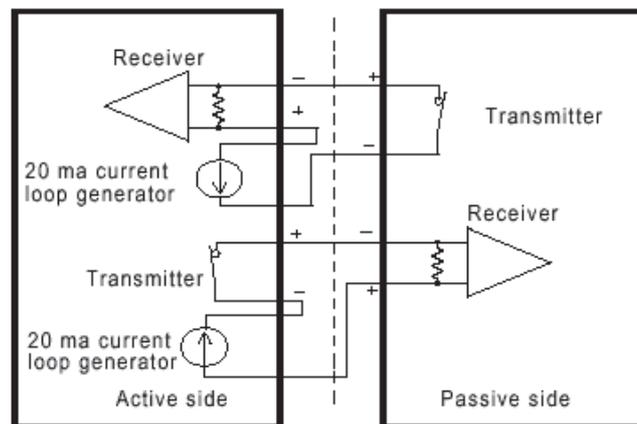


Source : Burr Brown

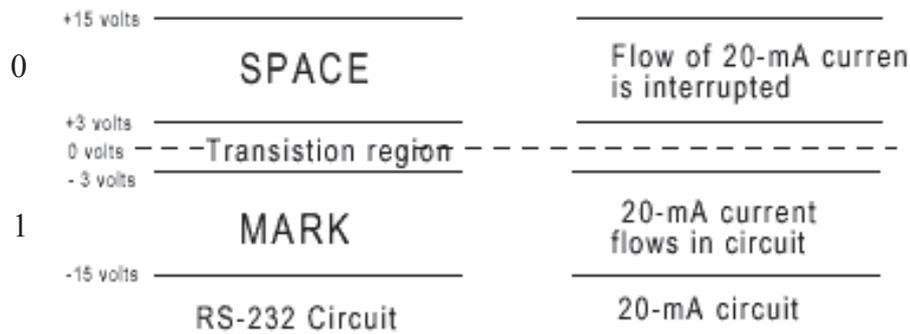
Capteur de température (Pt100), émetteur Burr Brown XTR105, résistance comme récepteur et générateur de tension

VARIANTES ET AMELIORATIONS

Il existe une boucle de courant 20mA pour une transmission numérique sur au plus 600m à au plus 19200 b/s

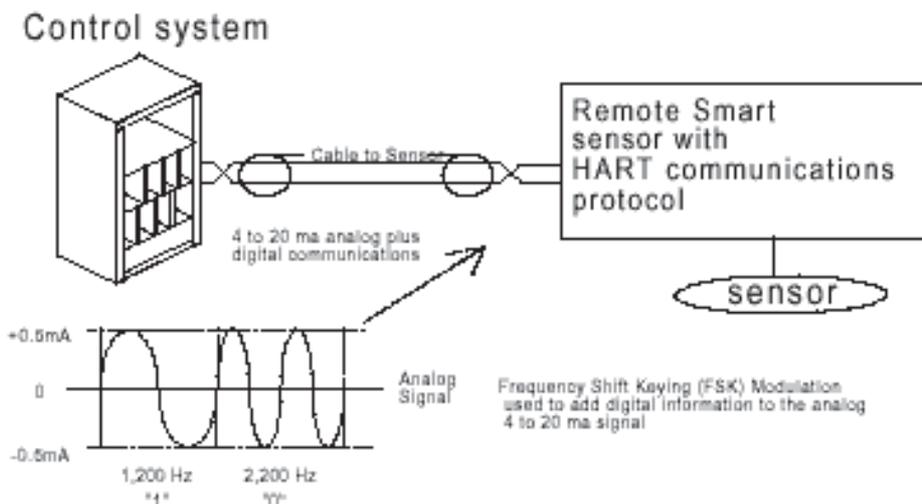


Source : BB Electronics



Source : BB Electronics

- ❑ Il est possible de faire en plus une transmission numérique sur une boucle de courant 4-20 mA (par modulation FSK) :
 - ☞ Protocole HART (Highway Adressable Remote Transducer)



Source : BB Electronics

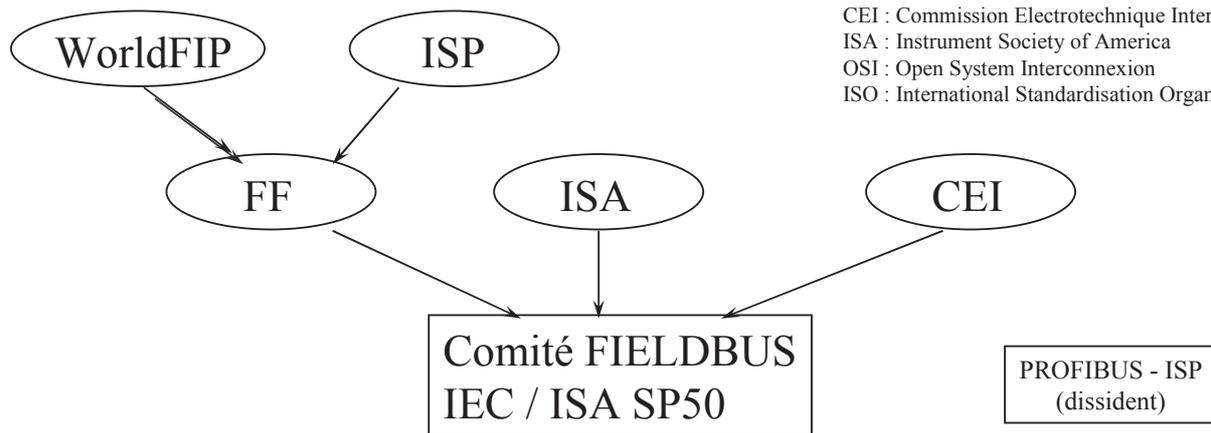
5. LA NORMALISATION DES BUS DE TERRAIN : UN ACCOUCHEMENT DIFFICILE

Historique

- 40' : Process de contrôle de capteurs de pression (USA)
- 60' : Apparition du standard boucle analogique 4-20 mA (11 ans)
- 70' : Boom des processeurs - contrôle centralisé
- 80' : Contrôle distribué - capteurs intelligents - réseau de terrain - début de la normalisation
- 94' : WorldFIP (World Factory Information Protocol, Europe) et ISP (Interoperable System Project, USA) fusionnent pour donner la Fieldbus Foundation (FF)
 - couche physique : sept 1992
 - couches liaison, application... : prévues fin 1998 mais...

- ❑ **CONSTAT** : plus de 10 ans de normalisation
(un standard de télécommunication de UIT met 3 ans à sortir)
 - ☞ L'idée de base était d'avoir un standard avant la sortie de produits commerciaux
 - ☞ Lobbying actif de groupes d'intérêt
...échec de la normalisation niveau liaison fin 1998
- ❑ **RALENTISSEMENT DE L'EMERGENCE D'UN STANDARD INTERNATIONAL DE BUS DE TERRAIN**
- ❑ **L'ABSENCE D'UN STANDARD A ENTRAINE L'APPARITION DE SOLUTIONS PROPRIETAIRES DEVENUES STANDARDS DE FAIT** (dû à une attente trop longue)

- ❑ On distingue actuellement 2 types de bus/réseaux de terrains :
 - ☞ Standards de fait : Interbus-S, ASI, Lonworks (capteur/actionneur)
 - ☞ Standards internationaux :
 - WorldFIP** (France, Italie) (NFC 46-600)
 - Honeywell
 - Cegelec
 - Télémécanique
 - EDF...
 - PROFIBUS** (PROcess Field BUS, Allemagne) (DIN 19245)
intégré à ISP (Interoperable System Project, USA)
 - Siemens
 - Fisher Controls (USA)...



Définition du standard international de bus de terrain basé sur le modèle en 7 couches des systèmes ouverts (OSI) de l'ISO

exemple : niveau physique norme «ISA S50.02 part 2» sept 92
 débits normalisés : 31,25 kb/s, 1Mb/s, 2 Mb/s

PREMIER BILAN :

- Cohabitation entre des standards de fait et des standards internationaux (Analogie avec Internet et les protocoles réseaux de l'UIT-T)
 - ☞ Assainissement de l'offre bus de terrain : seuls devraient subsister les produits reconnus par tous
 - ☞ Homogénéisation de l'offre : le modèle OSI est le modèle de référence
 - ☞ Difficulté pour l'utilisateur final de s'y retrouver et de faire le bon choix (pérennité assurée ?)
- Problèmes de compatibilité possible au niveau utilisateur pour des produits de fabricants différents ayant les mêmes caractéristiques de bas niveaux (volonté de conserver le client ?)

☐ 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

MAP : Manufacturing Automation Protocol
TOP : Technical and Office Protocol
IP : Internet Protocol

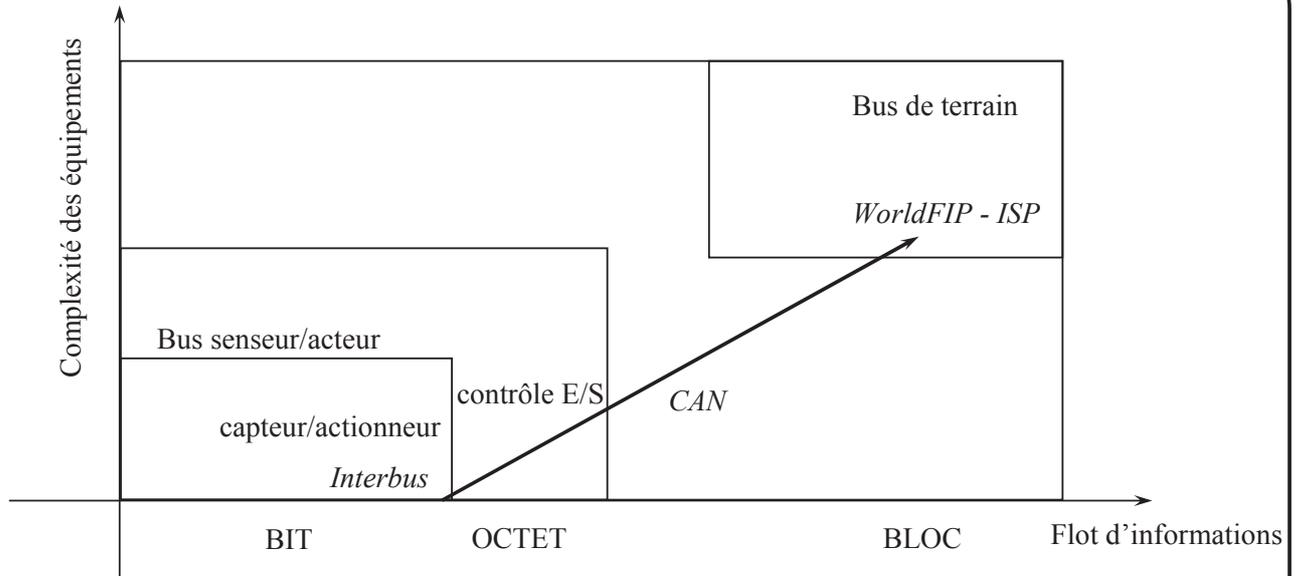
☐ Bus de terrain :

- ☞ Permet l'envoi de trames de qq. diz. d'octets à 256 octets...
- ☞ Temps de réaction de qq. ms à qq. diz. de ms
- ☞ Relie de unités intelligentes qui coopèrent dans l'exécution de travaux (coopération de tous les nœuds)
- ☞ Communications Maître/Esclave ou Multimaître
- ☞ Possibilité d'accès au niveau inférieur (capteur/actionneur)

☐ Bus capteur/actionneur :

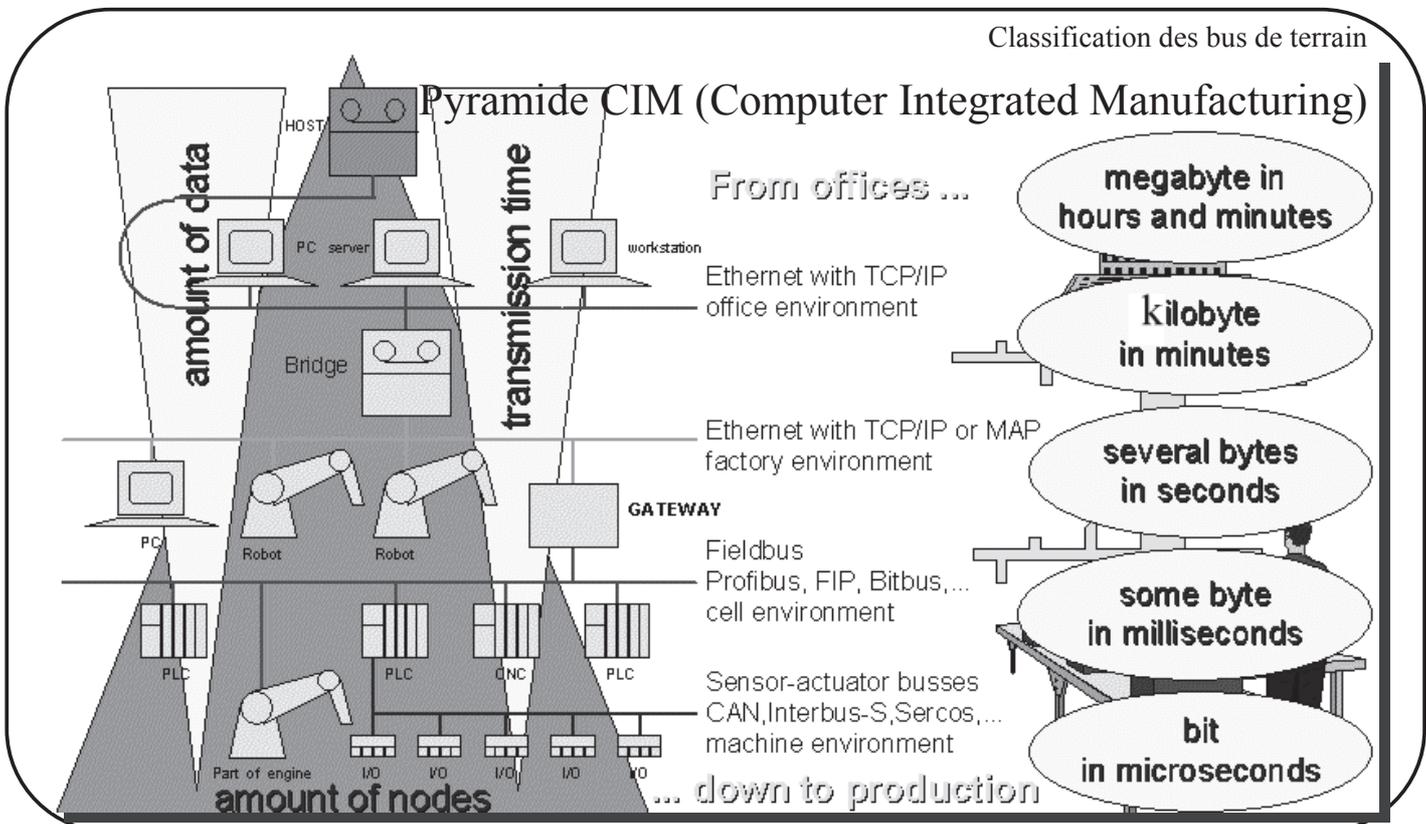
- ☞ Relie entre eux des noeuds à intelligence limitée ou nulle
- ☞ Temps de réaction primordial
- ☞ Limitation du nombre de données à faire circuler sur le bus (trame unique, fixe, cyclique (Interbus) ou trame avec protocole (CAN)

CAN : Control Area Network

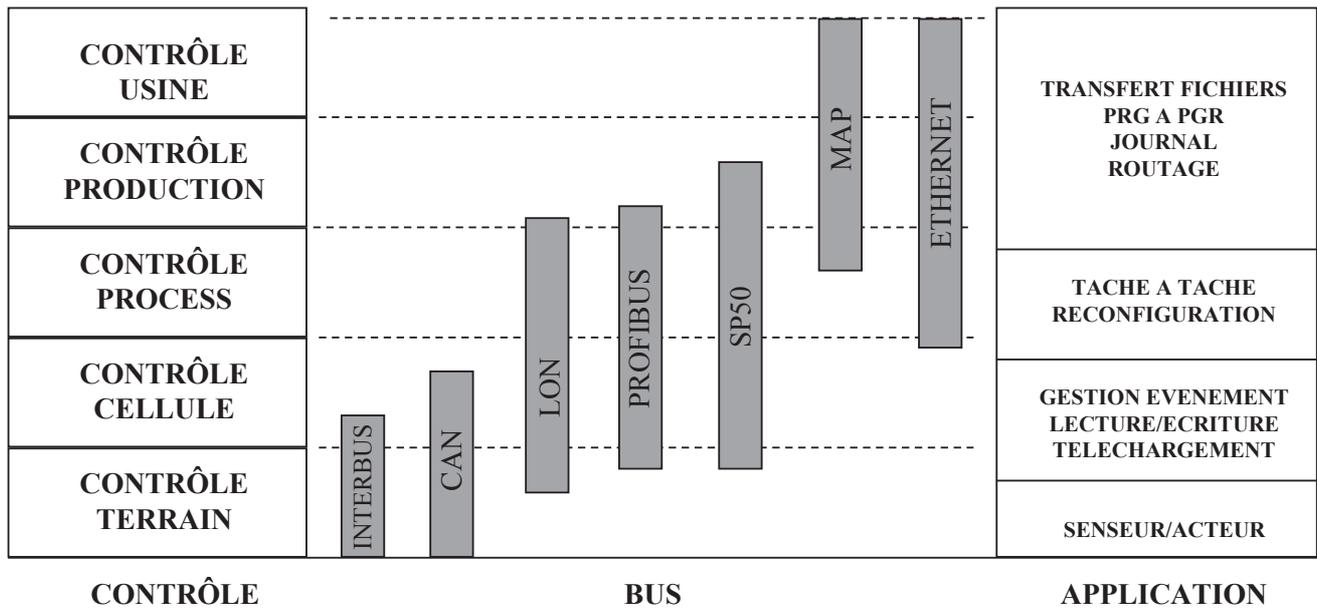


Classification des bus de terrain

source : M. MATEO, CERN



source : M. MATEO, CERN



ETAT DE LA NORMALISATION : (2001)

Couche concernée	Référence	Commentaire
Présentation générale	IEC 61158-1	En préparation
Couche physique 1	IEC 61158-2	Publié en 1993 FF, WordFIP, PROFIBUS PA conformes
Couche liaison 2	IEC 61158-3 IEC 61158-4	Ces 4 normes viennent d'être publiées et se déclinent en 8 types :
Services Protocoles		
Couche application 7	IEC 61158-5 IEC 61158-6	Type 1 : TS Type 2 : controlNet Type 3 : PROFIBUS Type 4 : P-Net Type 5 : FF-HSE Type 6 : SwiftNet Type 7 : WorldFIP Type 8 : Interbus S
Services Protocoles		
System management	IEC 61158-7	En préparation
Tests de conformité	IEC 61158-8	En stand by

Norme internationale	Bus concernés
IEC 62026	AS-i DeviceNet SDS LON (en cours)
IEC 61158	ControlNet PROFIBUS FF-HSE WorldFIP Interbus
EN 50295	As-i
EN 50170	PROFIBUS WorldFIP FF-H1 ControlNet (en cours)
EN 50254	PROFIBUS-DP WorldFIP Interbus
EN 50325	DeviceNet SDS CANopen (en cours)

Classification des bus de terrain

BUS ET NORMES : (2001)

6. LE DECOLLAGE DU BUS DE TERRAIN

❑ Décollage spectaculaire du nombre de bus / réseaux de terrain

- ✓ 1995 : 100000 bus / réseaux (France, Allemagne, Italie, GB)
- ✓ 2000 : multiplié par 7,
+ 100000 par an

source : cabinet Toepfler 1996
L'usine nouvelle 11/96

Réseaux industriels aujourd'hui et demain

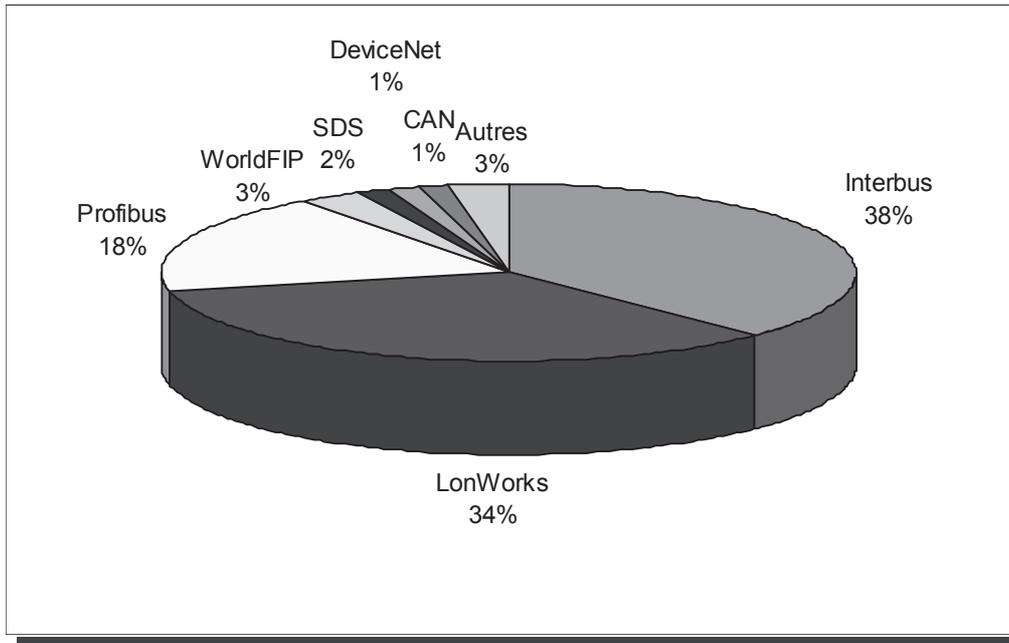
Aujourd'hui :
RS-485, RS-232
Demain :
bus de terrain ?

Network	INDUSTRIAL NETWORKS IN USE TODAY		INDUSTRIAL NETWORK LIKELY TO PURCHASE BY 2001	
	Domestic	International	Domestic	International
ARCNet	9%	12%	5%	3%
AS-Interface	2%	9%	2%	9%
CANopen	3%	12%	2%	16%
CC Link	2%	3%	2%	1%
ControlNet	15%	14%	26%	15%
DeviceNet	22%	17%	34%	13%
Ethernet	73%	50%	54%	38%
FOUNDATION-Fieldbus H1	3%	7%	5%	12%
FOUNDATION-HSE	1%	2%	3%	7%
HART	18%	18%	12%	13%
Interbus	7%	7%	10%	12%
LonWorks	4%	6%	3%	15%
Modbus	29%	22%	21%	18%
Modbus PWS	5%	5%	4%	4%
Modbus TCP/IP	9%	9%	10%	7%
Profibus-DP	8%	26%	10%	16%
Profibus-FMS	3%	14%	3%	6%
Profibus-PA	2%	9%	2%	10%
Proprietary	15%	17%	9%	12%
RS-232	63%	65%	34%	29%
RS-485	48%	64%	30%	29%
SDS	2%	1%	1%	1%
SERCOS	2%	4%	2%	3%
Seriplex	3%	1%	2%	1%
WorldFIP	1%	1%	1%	0%
4-20 mA	53%	51%	37%	19%

Today, the old standards reign supreme, with the lion's share of the market. They will retain their popularity for the next two years. Newer networks strive for more market share and they are gaining, albeit slowly.

source : Control Engineering 1999

Les différentes parts de marché bus de terrain

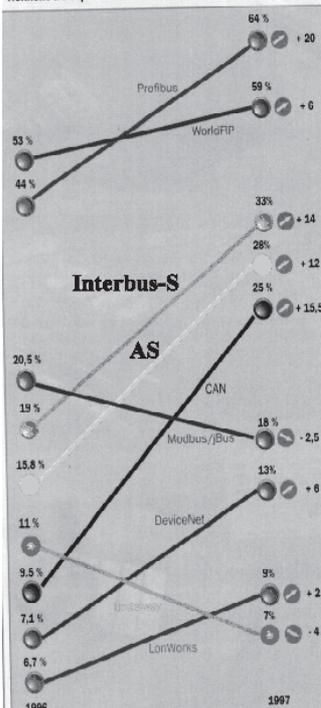


source : enquête club Interbus 1997

Les différentes parts de marché bus de terrain

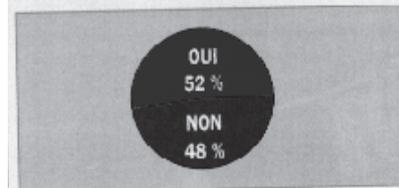
NOTORIÉTÉ SPONTANÉE DES BUS DE TERRAIN

Question posée : Pouvez vous citer des noms de bus de terrain et de bus de capteurs/actionneurs qui vous viennent à l'esprit ?



ÉTUDE DES BUS DE TERRAIN

Question posée : Avez-vous étudié les bus de terrain ?



371 personnes ont répondu à cette question.

source : Mesures No 695 - Mai 1997

CONCEPTION D'APPLICATIONS À BASE DE BUS DE TERRAIN

Question posée : Vous envisagez de concevoir des applications à base de bus de terrain. Sur quels critères allez-vous vous baser ?

	Très important	Plutôt important	Sans importance	NSP
Vous allez prendre le bus préconisé par votre fournisseur	28 %	34 %	33 %	5 %
Vous prendrez le bus qui présente les performances techniques les plus intéressantes	57 %	28 %	9 %	6 %
Vous prendrez le bus qui vous semble avoir le plus d'avenir	55 %	30 %	11 %	4 %
Vous prendrez le bus pour lequel l'offre correspond à vos besoins	56 %	30 %	9 %	5 %

303 personnes ont répondu à cette question.

AVENIR DES BUS DE TERRAIN

Question posée : Parmi les bus de terrain et de capteurs/actionneurs suivants, lesquels vous semblent avoir le plus d'avenir ?

	Tendance	Assuré		Incertain		Pas d'avenir		NSP	
		1997	1996	1997	1996	1997	1996	1997	1996
FIP	→	40 %	46 %	27 %	27 %	7 %	6 %	26 %	21 %
Profibus	→	70 %	55 %	12 %	17 %	1 %	3 %	17 %	27 %
CAN	→	35 %	22 %	19 %	22 %	2 %	4 %	44 %	52 %
DeviceNet	→	23 %	23 %	25 %	16 %	4 %	5 %	48 %	56 %
SDS	→	3 %	3 %	25 %	20 %	6 %	11 %	66 %	65 %
AS-I	→	35 %	20 %	20 %	17 %	3 %	6 %	50 %	59 %
Interbus-S	→	41 %	29 %	21 %	20 %	1 %	5 %	37 %	46 %
LonWorks	→	12 %	12 %	23 %	21 %	6 %	8 %	59 %	50 %
ControlNet		13 %		25 %		4 %			58 %

277 personnes ont répondu à cette question.

source : Mesures No 695 - Mai 1997

□ 3 CATEGORIES DE PROFESSIONNELS INTERESSES :

- ☞ Consommateurs : ceux qui ont à travailler sur une installation utilisant un bus de terrain et qui y sont transparents
- ☞ Intégrateurs de système utilisant un bus de terrain
- ☞ Producteurs, fournisseurs : ceux qui fournissent des équipements se connectant sur un bus de terrain

7. INFORMATIONS TECHNIQUES GENERALES SUR LES BUS DE TERRAIN

Le modèle OSI

- Un bus de terrain est un système de communication dédié :
 - ☞ Respect du modèle d'interconnexion des systèmes **ouverts (OSI)** de l'Organisation de Standardisation Internationale (ISO) (ISO 7498 1983)

- Le modèle OSI est une base de référence pour identifier et séparer les différentes fonctions d'un système de communication (vue de l'esprit, modèle logique)

- Un réseau de communication est basé sur une structure en couches

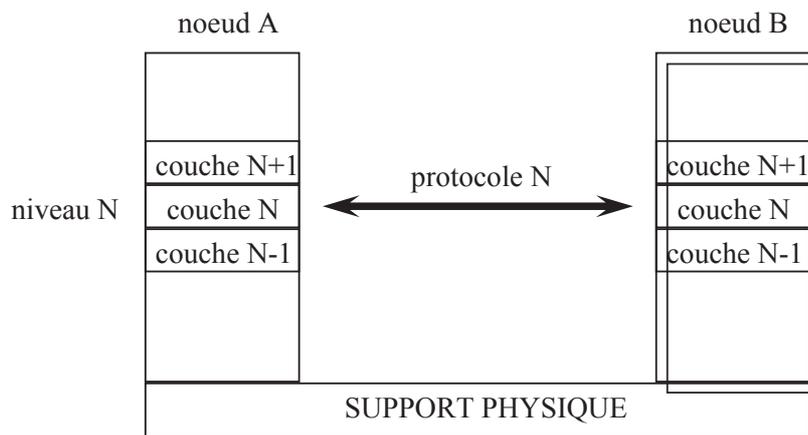
OSI : Open System Interconnexion
ISO : International Standardisation Organism

- ❑ Le modèle OSI est un modèle hiérarchique à plusieurs couches ou niveaux :
 - ☞ Une couche est créée quand un niveau d'abstraction est nécessaire
 - ☞ Chaque couche exerce une ou plusieurs fonctions précises
 - ☞ Le choix des frontières entre chaque couche doit limiter le flux de données échangées
 - ☞ Le nombre de couches doit être suffisant pour éviter de faire cohabiter dans une même couche des fonctions trop différentes

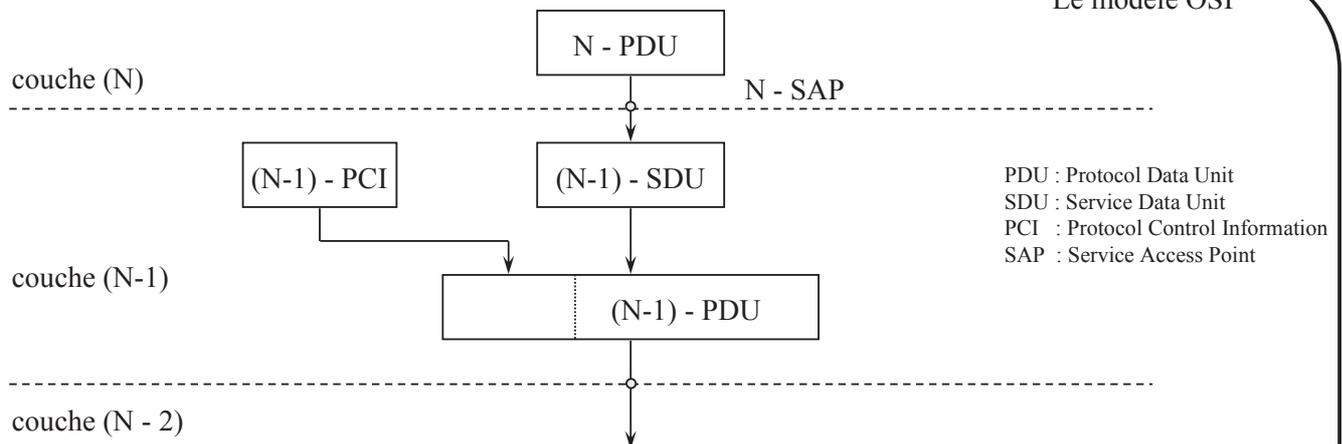


MODELE OSI A 7 COUCHES («LAYERS»)

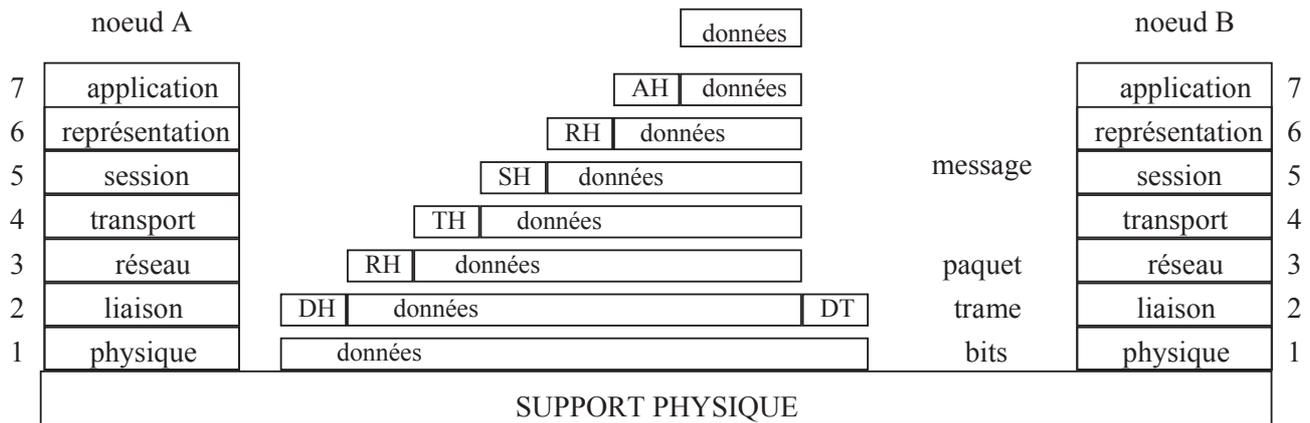
- ❑ Le modèle OSI ne propose pas une architecture de réseau universelle
- ❑ Le modèle OSI décrit seulement ce que chaque couche doit réaliser
- ❑ L'ISO a quand même proposé des normes (protocoles) pour ces couches (HDLC, X.25-2 (LAP-B)...)
 - ☞ Chaque couche assure un ensemble de fonctions spécifiques :
 - ☞ Chaque couche utilise les services de la couche immédiatement inférieure pour rendre à son tour un service à la couche immédiatement supérieure
 - ☞ Une **entité** est l'élément actif d'une couche (matériel, logiciel)
 - ☞ Les entités d'une même couche sur 2 noeuds différents sont des **entités paires** ou homologues



- Un **protocole** est le langage commun que doivent connaître et utiliser 2 entité homologues



- Application du principe d'encapsulage des données passées d'un niveau à un autre («poupées russes»)
 - ☞ Encapsulage des données vers les niveaux inférieurs
 - ☞ Désencapsulage des données vers les niveaux supérieurs
 - ☞ Diminution du débit utile



❑ Le modèle OSI possède 7 couches :

- ☞ Couches 1 à 4 : **couches basses** chargées d'assurer un transport optimal des données
- ☞ Couches 5 à 7 : **couches hautes** chargées du traitement des données (représentation, cryptage...)

RÔLE DES DIFFÉRENTES COUCHES

❑ Couche 1 ou couche physique :

- ☞ Mode de représentation des données (bits) ou codage
- ☞ Spécifications mécaniques et électriques
- ☞ Synchronisation, détection erreur bit

❑ Couche 2 ou couche liaison de données :

- ☞ Assure un premier niveau de contrôle de la transmission en offrant un service de transmission sécurisé
- ☞ Structuration des données sous forme de trames
- ☞ Détection et correction (par retransmission) des erreurs détectées et non corrigées par le niveau 1 (utilisation de codes détecteur/correcteur d'erreur CRC pour erreur trame) CRC : Code de Redondance Cyclique

Couche 3 ou couche réseau :

- ☞ Routage et acheminement des données formatées en paquets à travers les différents noeuds du réseau (notion d'adresse)
- ☞ Gestion de la congestion dans le réseau

Couche 4 ou couche transport :

- ☞ Gestion du dialogue entre les 2 noeuds actifs
- ☞ Formatage des données sous forme de messages adaptés au niveau 3
- ☞ Deux modes de connexion :
 - mode connecté : connexion de bout en bout sécurisé avec multiplexage de voies possible
 - mode non connecté : service datagramme non fiable

Couche 5 ou couche session :

- ☞ Structuration du dialogue entre la session établie (break, reprise)
- ☞ Masquage total des problèmes de transmission

Couche 6 ou couche représentation :

- ☞ Représentation des données manipulées par les 2 applications communicantes (format, compression, cryptage...)

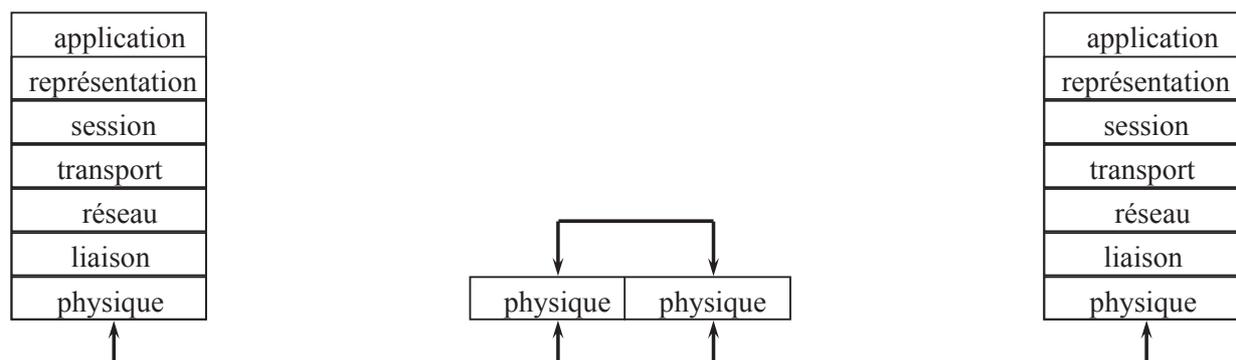
Couche 7 ou couche application :

- ☞ Interface entre l'application de l'utilisateur et le service de communication
- ☞ Définition d'applications normalisées (messagerie...)

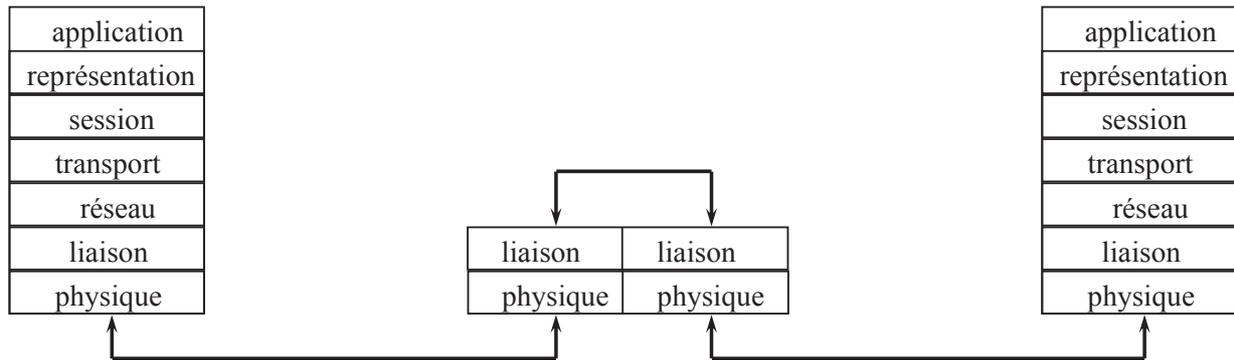
ELEMENTS D'INTERCONNEXION

- Nécessité d'ajouter des éléments dans un réseau de communication pour :
 - ☞ Extension de réseau (plus de noeuds, plus long)
 - ☞ Lien vers un autre type de réseau

- Différents type d'appareils mis en œuvre suivant le niveau du modèle OSI considéré

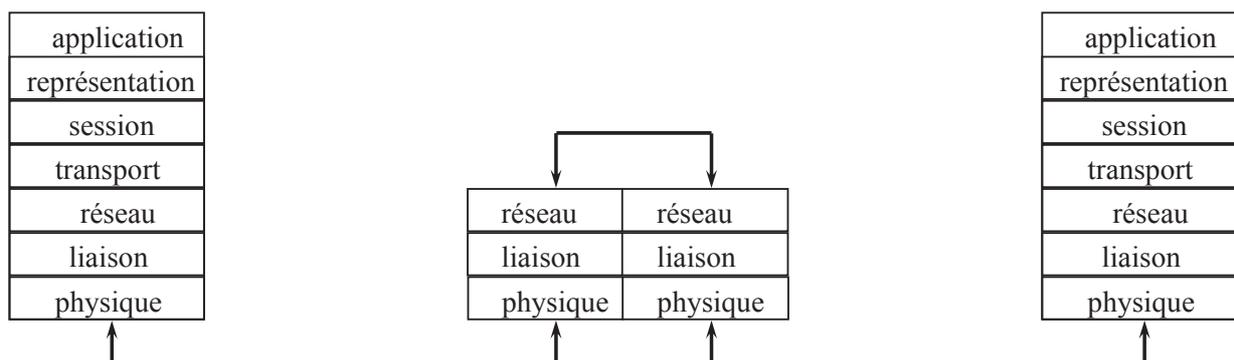


- Répéteur ou amplificateur («repeater») :
 - ☞ Amplification du signal pour augmenter la distance
 - ☞ Conversion de signaux (RS-485 vers fibre optique)



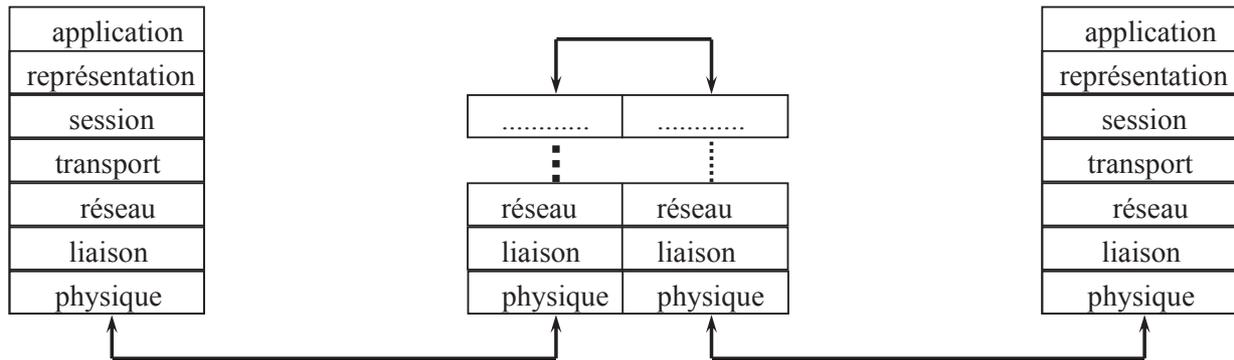
□ Pont («Bridge») :

- ☞ Conversion de signaux (couche 1) et de format des trames (couche 2)



□ Routeur («router») :

- ☞ Conversion de format des paquets et notamment des adresses
- ☞ Routage des paquets suivant adresse entrante vers des liens prédéfinis (sous-réseau ou «subnetwork») (routeur IP)
- ☞ Système intelligent (diminution du débit)



Passerelle («gateway») :

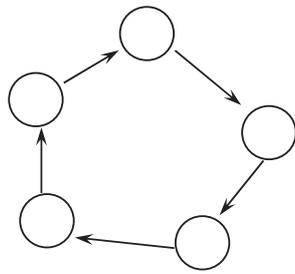
- ☞ Conversion de format de messages d'une des couches supérieures (4 à 7)
- ☞ Généralement confondu avec un pont

On peut classer un réseau suivant différents critères :

- ☞ Distance entre les éléments les plus éloignés
- ☞ Débit maximum
- ☞ Nombre maximum de noeuds
- ☞ Protocoles mis en œuvre (méthode d'accès au médium)
- ☞ Topologie

Les différentes topologies possibles sont :

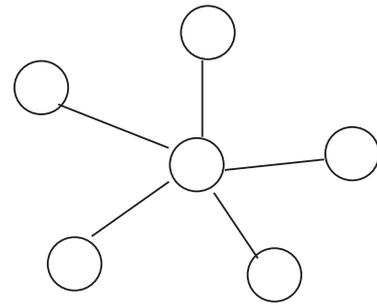
- ☞ Anneau («ring»)
- ☞ Etoile («star»)
- ☞ Bus
- ☞ Arbre («tree»)



- ☞ Communication unidirectionnelle
- ☞ Régénération à chaque noeud
- ☞ Extension impossible en fonctionnement
- ☞ Problème si un noeud en panne

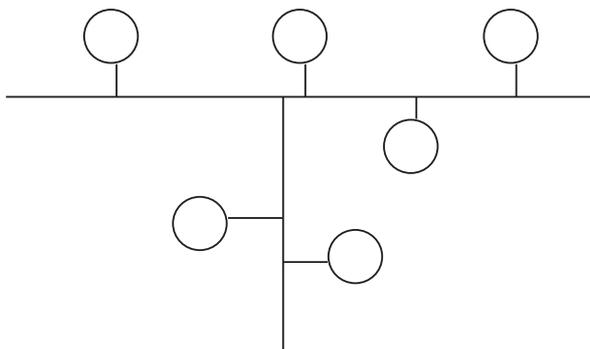
TOPOLOGIE EN ANNEAU

Critères de classification



- ☞ Noeud central
- ☞ Ajout d'un noeud possible en fonctionnement
- ☞ plus de câble

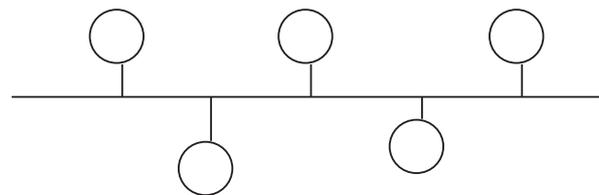
TOPOLOGIE EN ETOILE



- ☞ Compromis entre les 2 topologies précédentes
- ☞ Défaillance d'un noeud possible
- ☞ Extension aisée

TOPOLOGIE EN ARBRE

Critères de classification



- ☞ Pas de branches

TOPOLOGIE EN BUS

Topologie des bus de terrain

□ Importance fondamentale de la couche liaison de données

□ Division en 2 sous-couches :

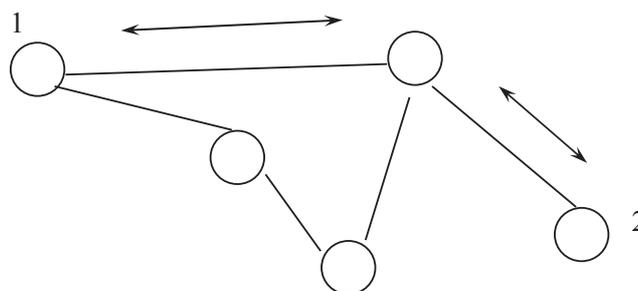
☞ Sous-couche LLC («Logical Link Control») :

- * Filtrage des messages
- * Recouvrement des erreurs bit / trame
- * Notification de surcharge (overrun)

☞ Sous-couche MAC («Medium ACcess») :

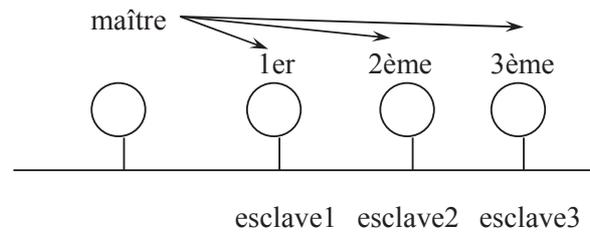
- * Mise en trame, gestion émission / réception
- * détection / signalisation erreur bit
- * arbitrage : gestion des accès simultanés sur le médium car collisions possibles
- * temps de latence (valeur garantie ?)
- * importance de la topologie

application	7
représentation	6
session	5
transport	4
réseau	3
LLC	2
MAC	2
physique	1



□ Accès avec protocole orienté connexion :

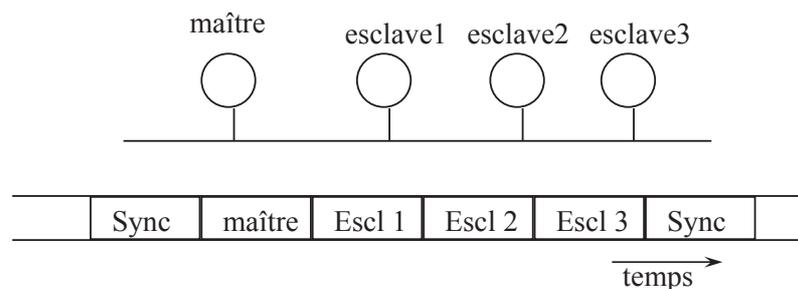
- ☞ Protocole des réseaux actuels
- ☞ 2 noeuds sont physiquement connectés (phase d'établissement d'une liaison avant émission de données)
- ☞ Possibilité de passer à travers plusieurs noeuds
- ☞ Déterministe si les 2 noeuds sont adjacents



(ex : Profibus)

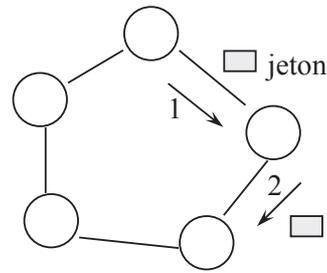
□ Accès par «polling» :

- ☞ Un noeud maître consulte périodiquement les noeuds esclaves par un message de polling leur donnant le droit d'émettre
- ☞ Système centralisé (Maître/Esclave)
- ☞ Point faible : maître
- ☞ Peu efficace
- ☞ Communication entre esclaves possible via le maître



□ Accès par multiplexage temporel («Time Division Multiple Access») :

- ☞ Emission d'un mot de synchronisation par le noeud maître
- ☞ Emission des données par tous les noeuds à un Intervalle de Temps précis (IT)
- ☞ Taille des données fixe
- ☞ Meilleure efficacité que le polling



(ex : bus FDDI)

☐ Accès jeton sur anneau («Token Ring») :

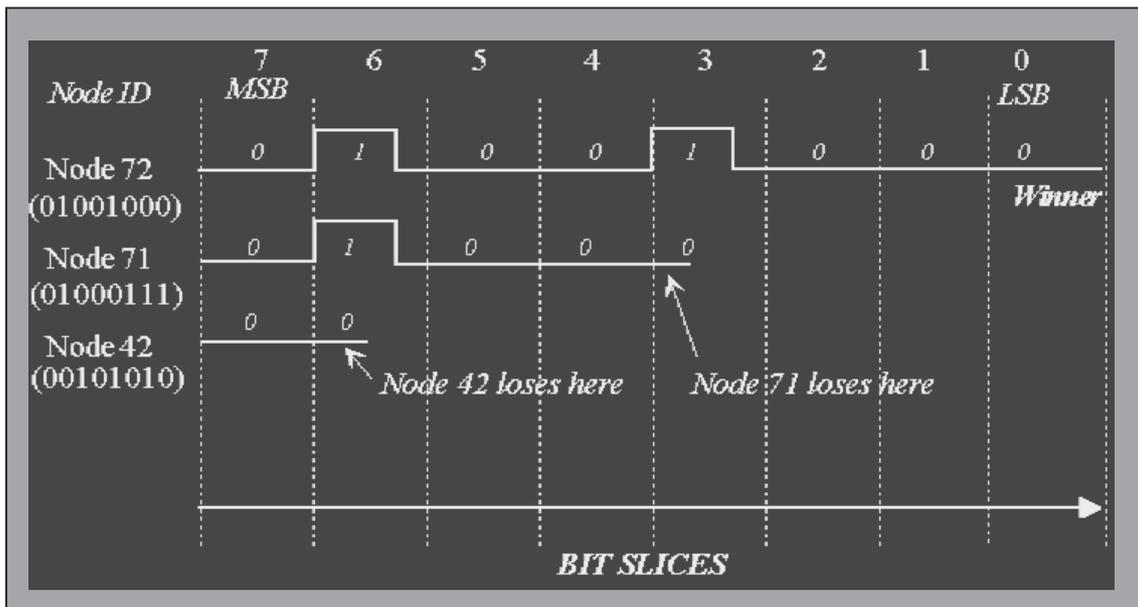
- ☞ Topologie en anneau
- ☞ Circulation d'une trame particulière (jeton) de noeud en noeud quand pas d'émission
- ☞ Le noeud désirant émettre sur le médium garde le jeton, émet sa trame puis rend le jeton
- ☞ Connexion point à point, déterminisme
- ☞ Problèmes si médium rompu, perte ou duplication de jeton
- ☞ Variante : bus à jeton

(ex : bus CAN)

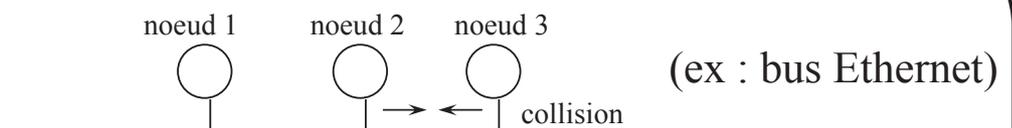
☐ Accès par dominance bit («Binary Countdown») :

- ☞ Les noeuds attendent un blanc avant d'émettre
- ☞ Chaque trame possède un identificateur (peut être l'identificateur du noeud)
- ☞ On distingue le bit dominant du bit récessif
- ☞ Accès multiples possibles
- ☞ En cas de contention, l'arbitrage se fait sur les bits de l'identificateur («Bitwise Contention»)
- ☞ Introduction de priorités
- ☞ Efficacité importante
- ☞ L'arbitrage introduit une longueur max du réseau

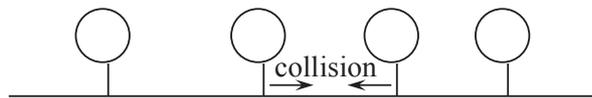
$$time_bit > 2 t_prop_bus = 2 l_bus/v$$



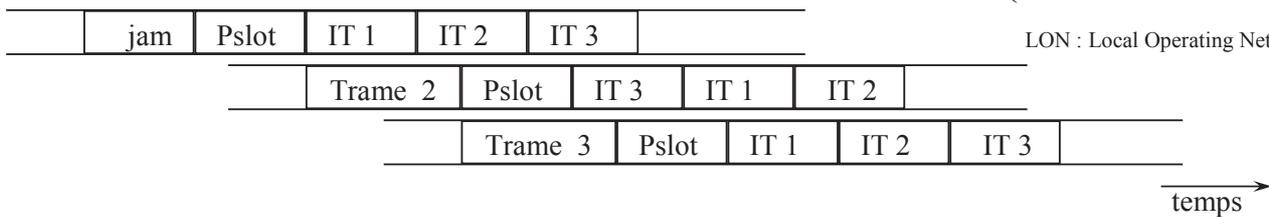
Principe de l'arbitrage par dominance bit



- Accès CSMA/CD («Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection») :
 - ☞ Les nœuds attendent un blanc avant d'émettre
 - ☞ Si plusieurs émissions simultanées, détection de la collision
 - ☞ Accès multiples possibles
 - ☞ En cas de contention, l'arbitrage se fait par durée d'attente aléatoire pour chaque nœud en collision
 - ☞ Problème si charge élevée
 - ☞ Peu déterministe (risque de blocage)



(ex : réseau LON)



LON : Local Operating Network

- ☐ Accès CSMA/CA («Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance») :
- ☞ Les noeuds attendent un blanc avant d'émettre
 - ☞ Accès multiples possibles
 - ☞ Si détection collision, émission d'un signal «jam» suivi d'une trame de gestion de contention avec IT
 - ☞ Introduction d'un IT ultra prioritaire pour message global prioritaire

RECAPITULATIF :

	Efficacité trafic faible	Efficacité trafic élevé	Déterminisme	Priorité	Robustesse	Flexibilité couche physique	Coût par noeud
mode connecté	☑	☹	☺	☑	☺	☹	☑
polling	☹	☑	☺	☹	☹	☺	☑
TDMA	☹	☺	☺	☹	☹	☺	☹
Token Ring	☺	☺	☺	☺	☑	☑	☑
Token Bus	☑	☺	☺	☑	☑	☺	☑
Prédominance bit	☺	☺	☑	☑	☺	☹	☺
CSMA/CD	☺	☹	☹	☑	☺	☺	☑
CSMA/CA	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺

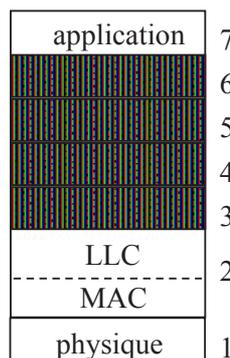
☺ : bon
 ☹ : mauvais
 ☑ : OK

- Un bus de terrain est basé sur la restriction du modèle OSI à 3 couches :
 - ✓ Couche physique
 - ✓ Couche liaison de données
 - ✓ Couche application

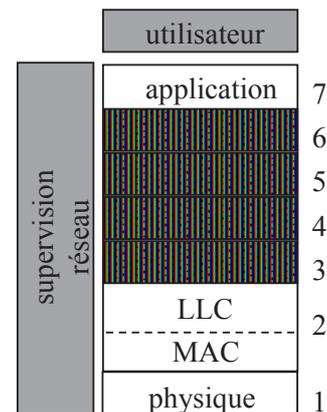
- Cette modélisation est respectée par les standards de fait et internationaux

- Le standard international ISA/SP50 a en plus normalisé la partie applicative, c'est à dire la fonction d'automatisme réalisée par le système. Les concepts de la programmation objet ont été utilisés

Le bus de terrain et le modèle OSI



standard de fait



standard ISA/SP50

- Couches 3 à 6 vides :
 - ☞ Pas de besoin d'interconnexion avec un autre réseau
 - ☞ Gain en performance

□ Le bus de terrain ISA/SP50 possède en plus :

☞ Une couche **utilisateur** :

- * Implémentation d'une stratégie de contrôle global distribué modélisée sous forme de blocs fonctionnels («function block»)
- * Mise en place d'une base de données répartie distribuée sur le réseau pour le contrôle et l'acquisition

☞ Bloc **supervision** («system and network management») :

- * Configuration, monitoring, contrôle des ressources du réseau

FIELD BUS 
ONLINE

SOLUTION 0 : FF

DESCRIPTION DU STANDARD INTERNATIONAL ISA / SP50

- Tous les équipements connectés au médium ont les mêmes paramètres

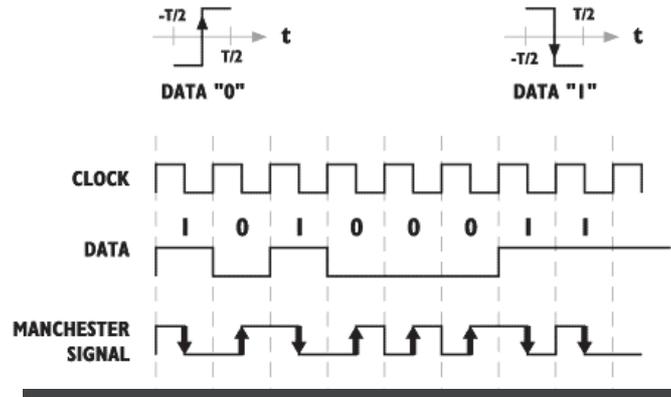
- Couche physique :
 - ☞ Reprise du standard CEI (IEC 1158)
 - ☞ Echange de données série, SYN, half duplex
 - ☞ Médium : paire torsadée blindée (FO, radio : à l'étude)
 - ☞ 3 débits normalisés : 31.25 Kb/s (H1), 1Mb/s, 2.5 Mb/s
 - ☞ Topologie : bus, arbre (31.25 Kb/s seulement), point à point avec résistance de terminaison 150 Ω
 - ☞ Nombre de noeuds max : 32
 - ☞ Téléalimentation possible 9-32 V DC

- Couche physique : une (r)évolution
évolution en cours sur Ethernet 100 Mb/s (H2) :
 - ☞ projet HSE (High Speed Ethernet) (norme IEC 61158)

- HSE est destiné à collecter et distribuer l'information mais ne possède pas le déterminisme nécessaire aux applications à temps critique

☐ Couche physique :

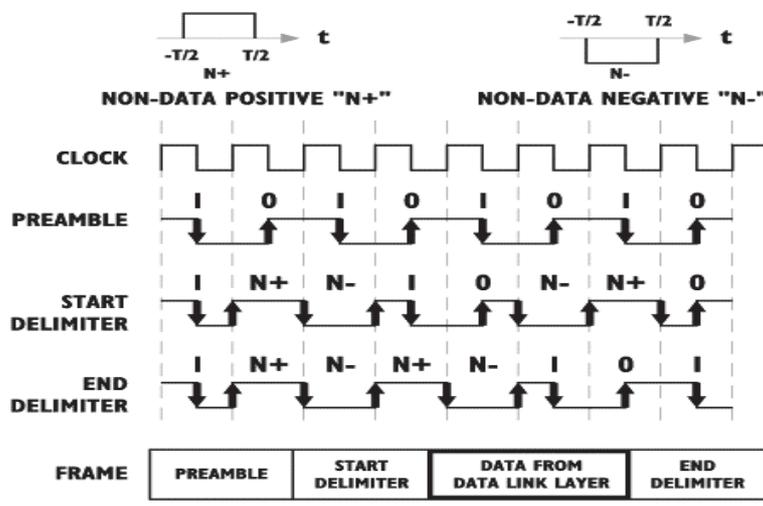
- ☞ Utilisation d'un code de ligne Manchester (une transition par élément binaire pour transfert du rythme)
- ☞ Modulation du courant par ce code (15-20 mA)



source : SMAR

☐ Couche physique :

- ☞ Définition d'une structure de trame (préambule, données niveau liaison, délimiteur)



source : SMAR

☐ Couche liaison MAC :

- ☞ Un noeud maître actif, des noeuds esclaves (ont le droit seulement de répondre au maître)
- ☞ Accès au médium par polling avec jeton : on peut avoir plusieurs maîtres déclarés, seul le maître ayant le jeton est le maître élu pour interroger les noeuds esclaves (pas de contention)
- ☞ Chaque trame possède les adresses source et destination
- ☞ Code CRC 16 bits pour détection des erreurs

☐ Couche liaison LLC (en cours de normalisation) :

- ☞ Définition de 2 types de message :
 - * *Message opérationnel* : faible volume, temps critique (variable, contrôle...)
 - * *Message de fond* («background») : fort volume, non temps critique (configuration, diagnostics...)

☐ Couche application :

- ☞ 2 types de connexion définis :
 - * *Modèle Client / Serveur* : transfert de données acyclique entre 2 applications
 - * *Modèle Producteur / Consommateur* («publisher / subscriber») : transfert de données cyclique entre 2 applications (contrôle capteur/actionneur)



BUS DE TERRAIN EN COURS DE NORMALISATION

(couche liaison adoptée fin 1997 !!!)

PARTIE II : LES BUS DE TERRAIN - ETAT DE L'ART -

Les points abordés

Présentation de bus de terrain dignes d'intérêt (état de l'art)

- ✓ ☞ Côté utilisateur final
- ✓ ☞ Côté concepteur de cartes

- ✓ Illustration par l'exemple des point techniques précédemment vus

- ✓ Bus de terrain et connectivité Internet

- ✓ Tableaux récapitulatifs

- ✓ Conclusion : les questions à se poser pour le choix d'un bus de terrain



SOLUTION 1 : WorldFIP

Le bus de terrain WorldFIP

- WorldFIP est un standard de fait qui respecte le modèle OSI (1,2,7)
- Le bus de terrain WorldFIP est un produit français à l'initiative du Ministère de l'Industrie en 1982
 - ☞ Norme CENELEC EN50170 et EN50254
- WorldFIP est à la base du standard international IEC/SP50
- WorldFIP est à ranger dans la catégorie des bus de terrain

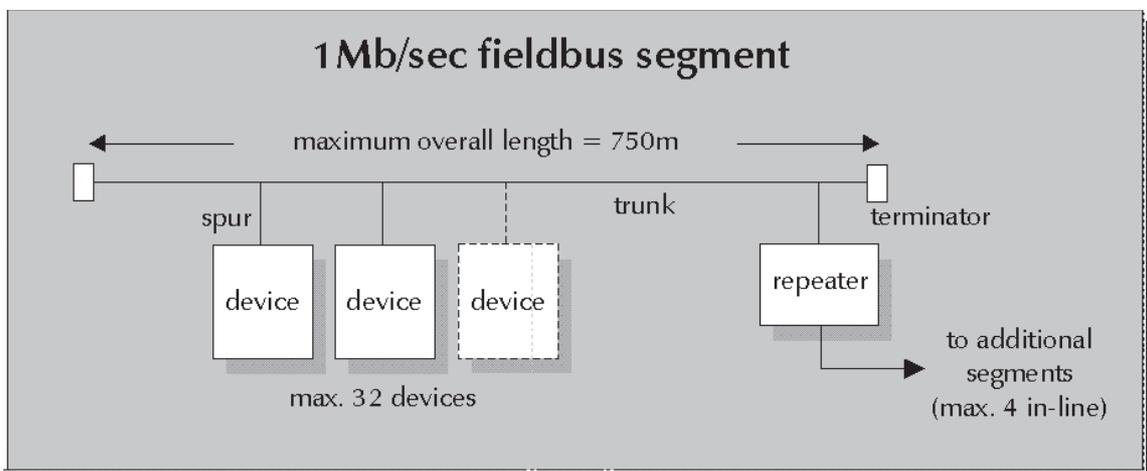
☐ Couche physique :

- ☞ Conforme à la norme CEI 1158
- ☞ Médium : paire torsadée blindée 150 Ω avec une paire supplémentaire en cas de défaillance
- ☞ Nombre max de noeuds : 32 par segment
- ☞ 4 répéteurs au plus
- ☞ 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 prévu grâce à FIP HSF (FIP High Speed Fieldbus)

ISA SP50/IEC function blocks		8
FIP MPS	MMS	7
FIP Temps critique	FIP Messages	2
IEC 1158-2		1

☐ Couche physique :

- ☞ Topologie : étoile, anneau ou bus
- ☞ Nombreux composants et appareils disponibles (voir revue de presse)

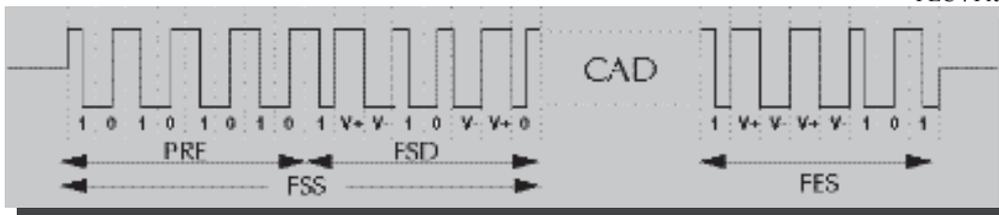


source : WorldFIP

☐ Couche liaison :

- ☞ Structure de trame du type IEC/SP50
- ☞ Utilisation d'un code CRC 16 bits ($TEB < 10^{-9}$)
- ☞ Arbitrage du bus assurant le déterminisme :
 - ✓ Accès cyclique ou non à des variables temps critique
 - ✓ Transfert de messages non temps critique selon le format MMS («Manufacturing Message Specification»)

FSS : Frame Start Sequence
 CAD : Control And Data field
 FEC : Frame End Sequence

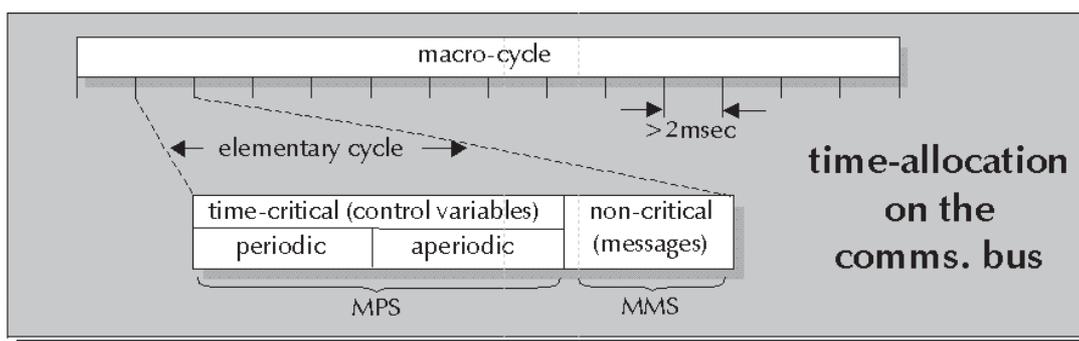


CAD : Contrôle + données + CRC16

source : WorldFIP

☐ Couche liaison :

- ☞ Utilisation du modèle producteur / consommateur pour transmettre
 - ✓ 1. variable cyclique temps critique toujours transmise (capteur)
 - ✓ 2. variable événementielle temps critique (alarme)
 - ✓ 3. message non temps critique transmis si possible (maintenance)
- ☞ Exécution d'un macro cycle de durée égale au temps de rafraîchissement le plus long



source : WorldFIP

Couche application :

- ☞ Utilisation du modèle Client/Serveur pour applications non temps critique
- ☞ Utilisation d'une spécification des messages de type MMS

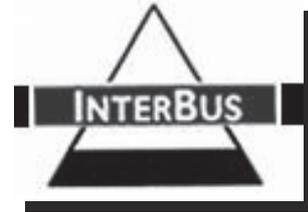
Passerelles vers les bus de terrain

- ✓HART
- ✓FF

Contacts :

WorldFIP
2-4 rue de Bône
92160 ANTONY

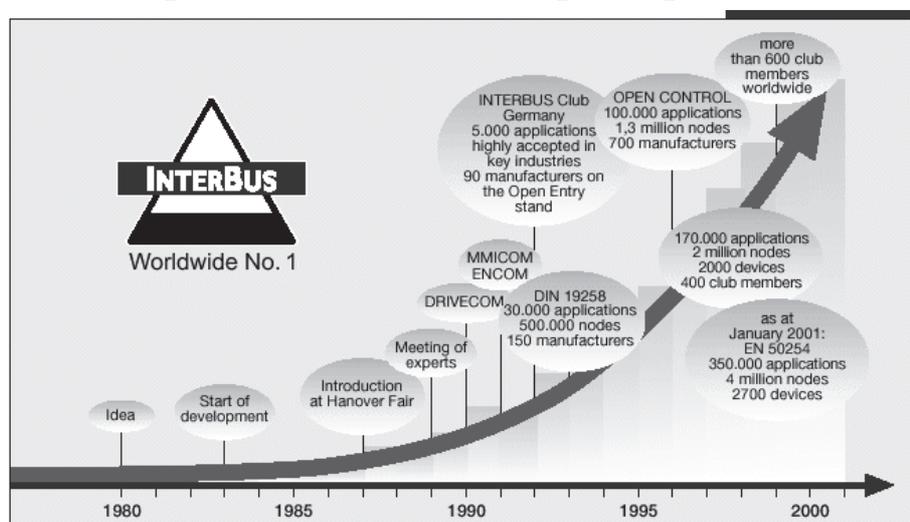
<http://www.worldfip.org>



SOLUTION 2 : INTERBUS

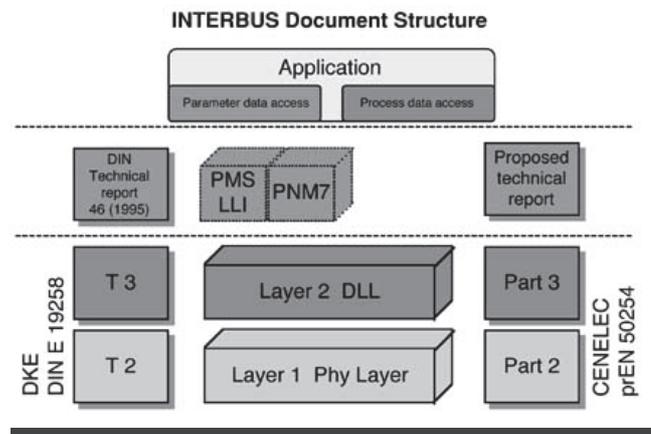
Le bus de terrain Interbus

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



[Figure 11]
Development of INTERBUS fieldbus systems and the INTERBUS Club

- ❑ Le bus de terrain Interbus est un produit reconnu
 - ☞ Norme CENELEC EN50254 (1997)
 - ☞ Norme DIN 19258 (1993)

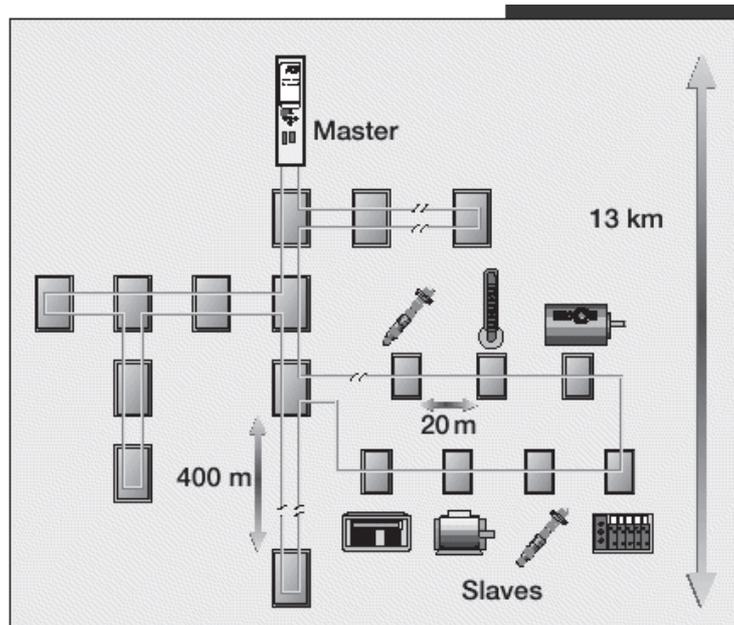


source : club Interbus

- ❑ Interbus est à ranger dans la catégorie des bus capteur/actionneur. Il offre néanmoins la possibilité d'émettre des messages de 10 à 100 octets
- ❑ Interbus est beaucoup utilisé dans l'industrie
 - ✓ 700 fournisseurs de modules Interbus
 - ✓ 120000 réseaux mis en place reliant 1500000 de modules !
- ❑ Interbus possède des composants d'interface
 - ☞ Circuit LPC1 de Phoenix Contact
 - ☞ Circuit SuPI du club Interbus

☐ Couche physique :

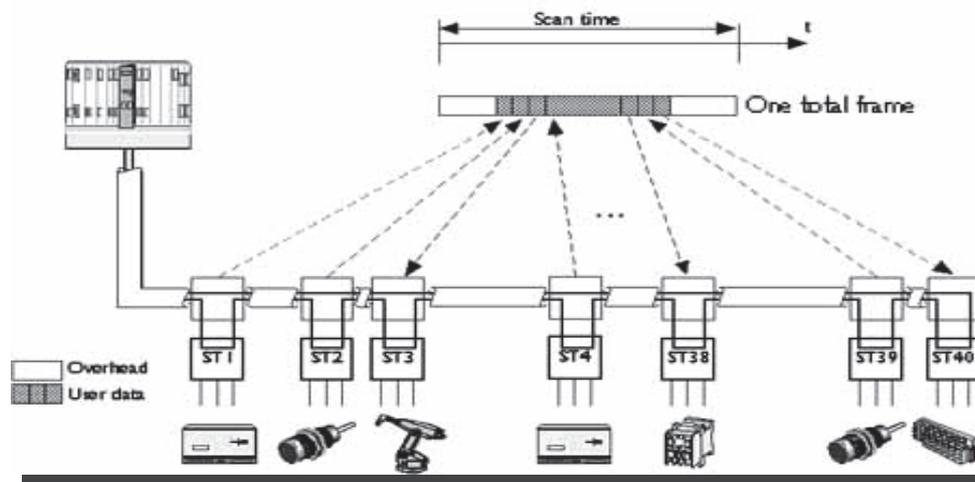
- ☞ Médium : 2 paires torsadées
- ☞ Signaux conformes au standard RS-485
- ☞ Nombre max de noeuds : 256 pour 4096 E/S au maximum
- ☞ Débit brut de 500 kb/s, débit utile de 300 kb/s (efficacité des protocoles de 60 %) avec une version 2 Mb/s
- ☞ Fonction répéteur réalisée par chaque nœud traversé
- ☞ Longueur maximale de 12,8 km



[Figure 3]
INTERBUS topology

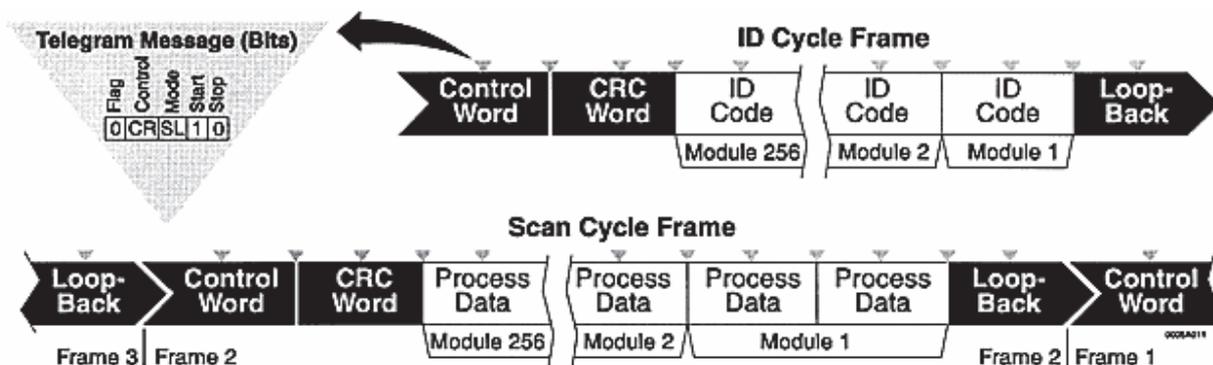
- Couche physique :
 - ☞ Topologie : anneau

One-Total-Frame Protocol



source : club Interbus

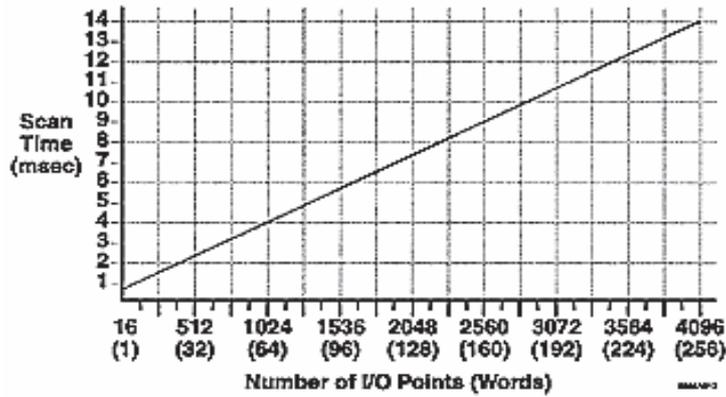
- Couche liaison :
 - ☞ Structure d'une frame cyclique unique type TDMA
 - ✓ Trame pour identification des modules (« ID cycle »)
 - ✓ Trame de scrutation/contrôle des modules (« Scan Cycle »)



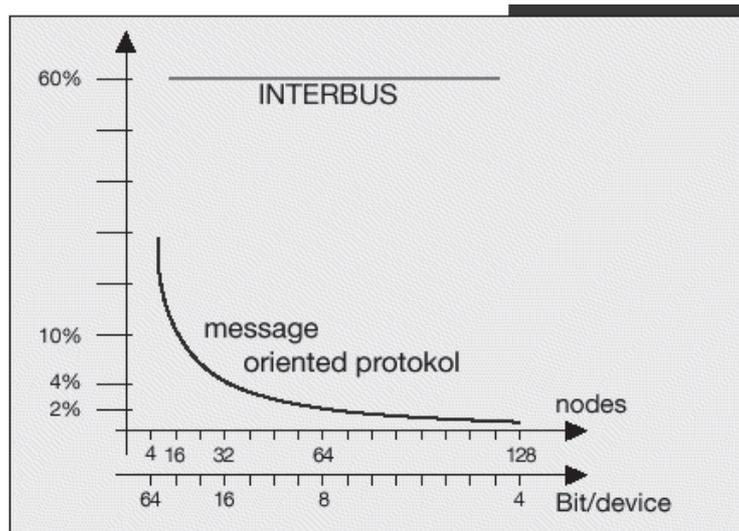
source : club Interbus

☐ Couche liaison :

- ☞ Utilisation d'un code CRC 16 bits
- ☞ Communications type maître/esclave (pas de conflit)
- ☞ Trame de durée fixe selon le nombre de modules recensés
- ☞ Déterminisme (temps de cycle : 500 μ s à 10 ms)



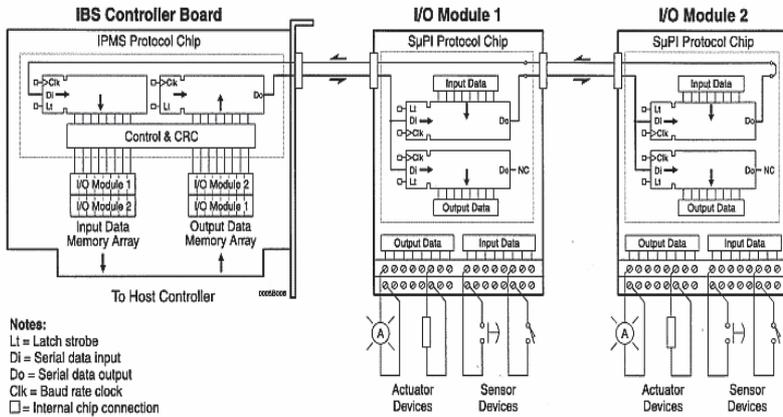
source : club Interbus



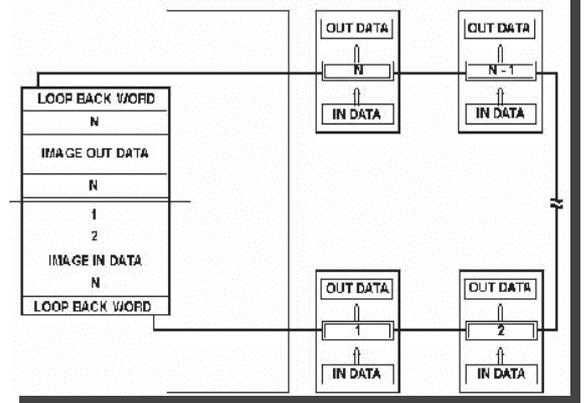
[Figure 7]
Efficiency of different transmission methods

☐ Couche liaison :

☞ Utilisation du principe du registre à décalage



Access Method

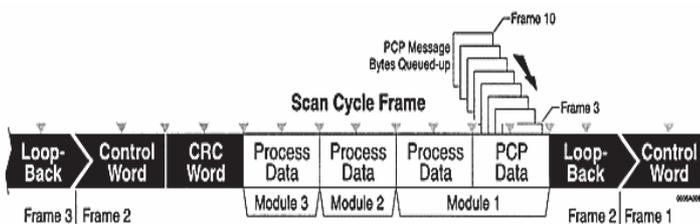


source : club Interbus

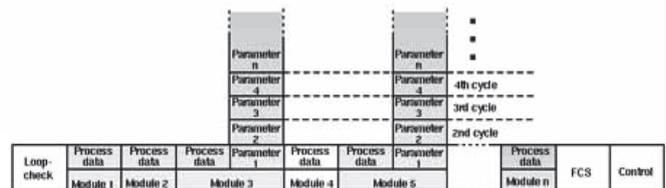
☐ Couche liaison :

☞ Accès cyclique à des variables d'E/S temps critique

☞ Accès acyclique possible à des messages non temps critique



PCP : Peripheral Communications Protocol
The INTERBUS Transfer Protocol



Cyclic transfer of process data with a fixed time slot pattern

Sequential insertion of parameter data as required

source : club Interbus

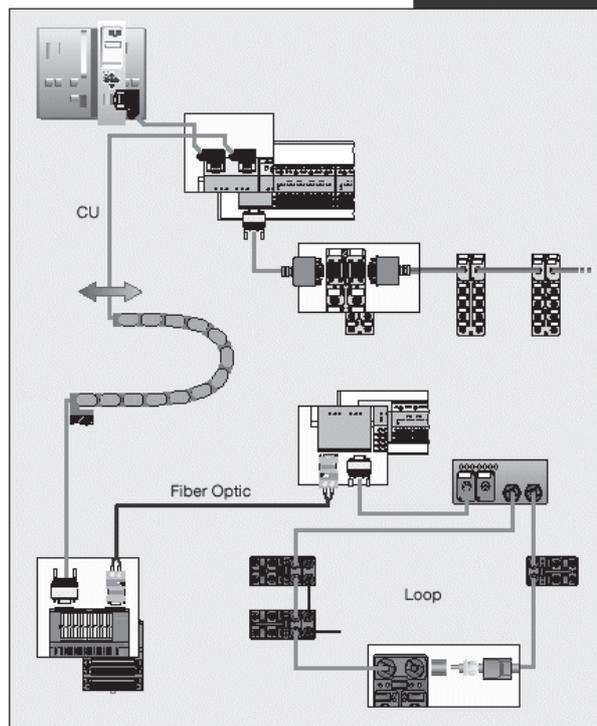
Couche application :

- ☞ Accès direct aux données d'E/S
- ☞ Accès par message pour applications non temps critique
 - ✓ Utilisation du modèle Client/Serveur
 - ✓ Utilisation de la spécification PMS (Peripherals Message Specification) basé sur le standard MMS (bibliothèque de routines C-ANSI)

MMS : Manufacturing Message Specification

Une version simplifiée d'Interbus est aussi proposée : Interbus-Loop

- ☞ Raccordement direct de capteurs/actionneurs
- ☞ Conformité à la norme DIN 19258, seul le niveau physique change (code Manchester modulant le courant)
- ☞ 2 connecteurs non blindés pour former la boucle
- ☞ Téléalimentation de 24 V DC
- ☞ Débit brut de la trame cyclique de 500 kb/s
- ☞ 64 nœuds au maximum
- ☞ Longueur maximale de 100 m
- ☞ Interfaçage possible à Interbus



[Figure 10]
Optical fiber/copper - easy to connect

☐ Contacts :

Phoenix Contact
9 avenue Léonard de Vinci
33600 PESSAC
05.57.26.58.59

Club Interbus
Bd de Beaubourg Emerainville
77437 MARNE LA VALLEE CEDEX 2

<http://www.interbusclub.com>

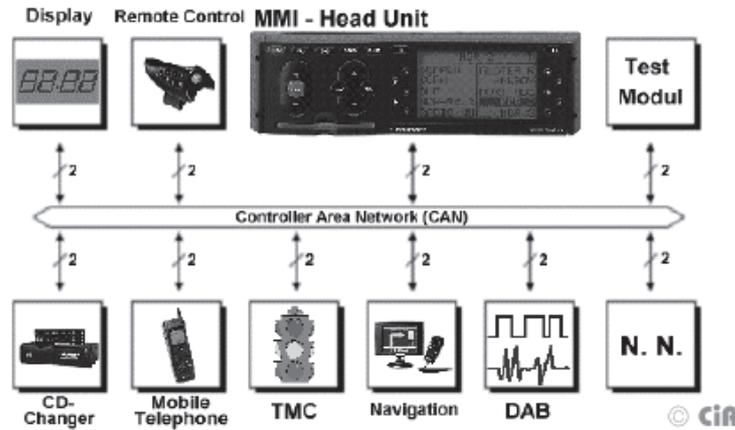
SOLUTION 3 : CAN

Le bus de terrain CAN

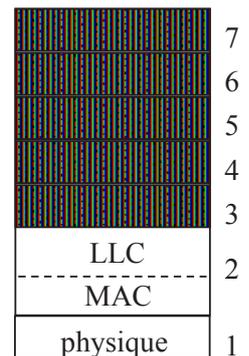
- CAN : Acronyme de «Control Area Network»
- CAN est un standard de fait développé par Robert Bosh GmbH et Intel (1985) et qui respecte le modèle OSI (1,2). Le niveau application a été défini par ailleurs
- Le bus de terrain CAN est un produit reconnu
 - ☞ Norme ISO 11898 (applications haut débit)
 - ☞ Norme ISO 11519 (applications faible débit)

- ❑ CAN a été initialement développé pour l'industrie automobile mais est aujourd'hui utilisé pour l'automatisme et les applications de contrôle

Entertainment in Motor Vehicles

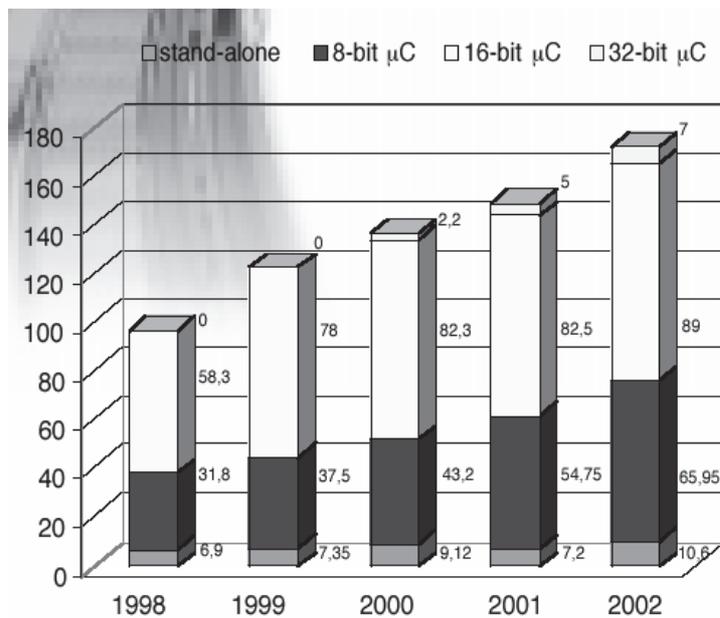
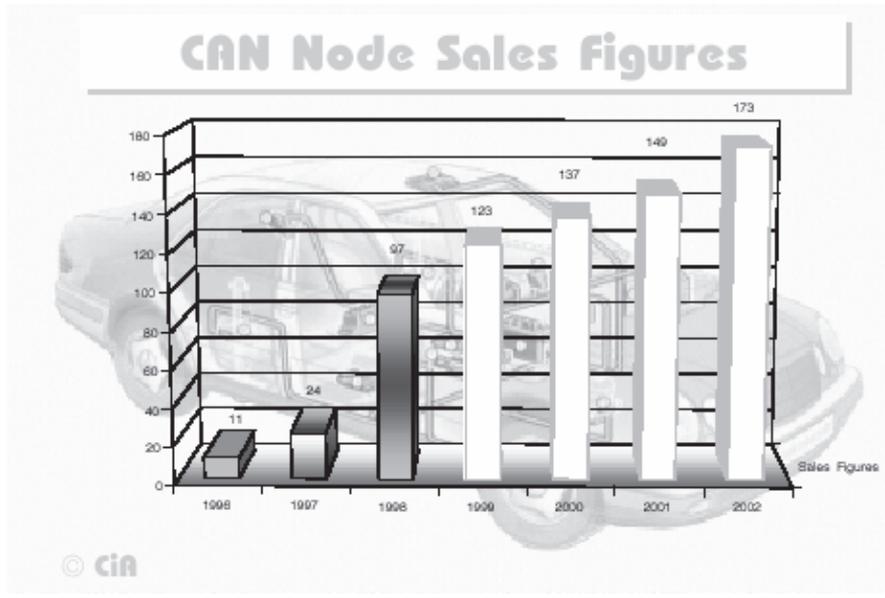


- ❑ CAN est à ranger dans la catégorie des bus de terrain



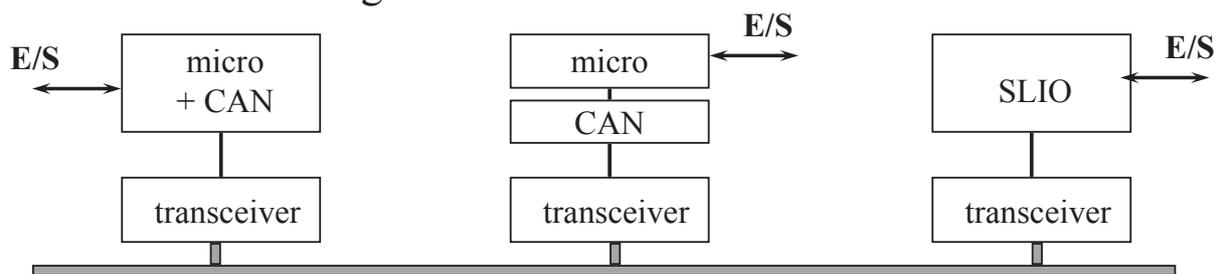
- ❑ CAN possède des composants chez différents fournisseurs
 - ☞ Hitachi, Motorola (68HC12), NS, NEC, Philips (87C592, 82C250), Siemens SGS Thomson, Toshiba
 - ☞ Circuits bon marché !!!

- ☐ CAN connaît un essor important
 - ✓ 11 millions de noeuds en 1996
 - ✓ 149 millions de noeuds attendus pour 2001 !



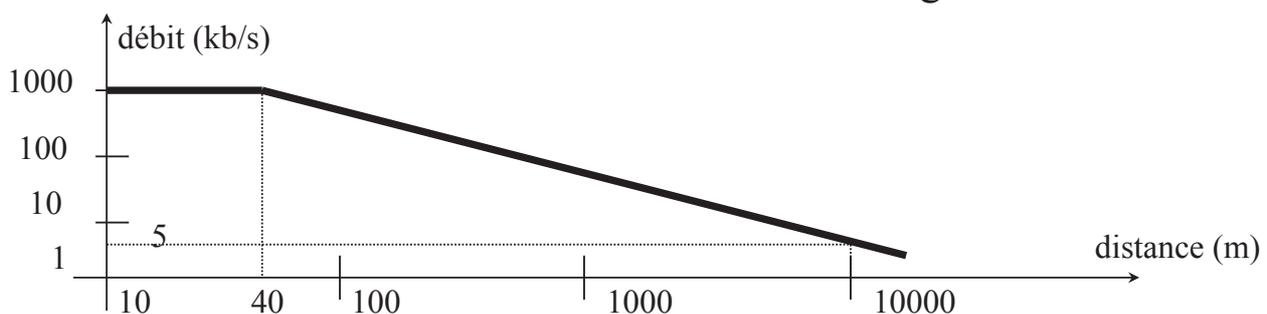
□ Les circuits CAN peuvent être de 2 types :

- ☞ Circuit «Basic CAN» : lien intime entre le protocole CAN et le microcontrôleur : comportement de type UART. Le micro est interrompu à chaque message émis sur le bus par un autre noeud
 - ✓ charge CPU importante
- ☞ Circuit «Full CAN» : filtrage des messages (suivant leur identificateur) pour réduire la charge CPU et ne pas interrompre le microcontrôleur
 - ✓ «buffering»



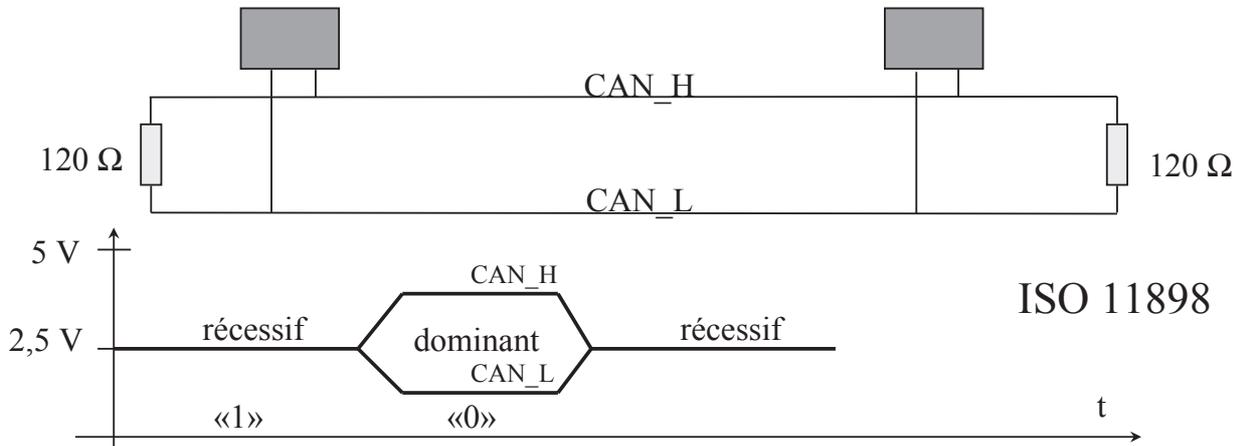
□ Couche physique :

- ☞ Médium : 1 paire torsadée blindée ou non
- ☞ Codage NRZ binaire
- ☞ Signaux émis en différentiel sur la paire
- ☞ Nombre max de noeuds : théoriquement suivant la taille du champ d'identification, pratiquement < 120 (suivant le circuit employé)
- ☞ Débit brut de 5 kb/s à 1 Mb/s suivant la longueur du réseau



☐ Couche physique :

- ☞ Topologie : bus
- ☞ Standard 11519 pour faible débit (< 125 kb/s)
- ☞ Standard 11898 pour haut débit : connecteur SUB-D 9 points



☐ Couche liaison :

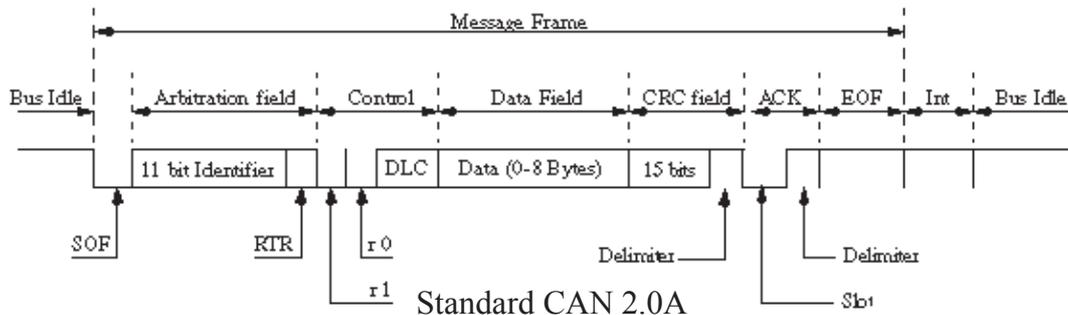
- ☞ Communications multimaître
- ☞ Arbitrage de type CSMA/CA
- ☞ Arbitrage sur le champ d'identificateur de la trame (message)
 - ✓ Bit dominant : 0
 - ✓ Bit récessif : 1
- ☞ L'entête (identificateur) de la trame donne sa priorité
 - ✓ Identificateur faible = priorité forte
 - ✓ La trame de plus forte priorité est toujours transmise

Le temps de latence dépend de la charge du bus (priorité la plus forte = $137 * \text{bit_time}$ pour CAN 2.0A)

☐ Couche liaison :

☞ 2 standards de trames définies :

- ☑ «Standard CAN» 2.0A: ID sur 11 bits
(2032 noeuds en théorie)
- ☑ «Extended CAN» 2.0B : ID sur 29 bits
(536870912 noeuds en théorie)



☐ Couche liaison : structure de la trame «Standard CAN»

- ☞ SOF : Start Of Frame
- ☞ RTR : Remote Transmit Request : distinction entre une «data frame» et une «remote frame»
- ☞ r0, r1 : bits dominants : réservés
- ☞ DLC : taille des données en octets (4 bits) : 0 à 8 octets
- ☞ CRC : code de redondance cyclique : CRC15
- ☞ ACK : ACKnowledge (2 bits dont 1 récessif) : acquittement de la trame
- ☞ EOF : 7 bits récessifs
- ☞ INT : 3 bits récessifs

Taille des données : au plus 8 octets

Protection contre les erreurs par CRC 15 bits $TEB < 5.10^{-11}$

- ❑ Couche liaison : différents types de trames sont définis
 - ☞ «data frame» : trame de données
 - ☞ «remote frame» : trame de demande d'émission de données par un noeud
 - ☞ «error frame» : trame d'erreur

- ❑ Couche application :
 - ☞ N'est pas explicitement définie dans le standard CAN
 - ☞ Différents types de couches application pour CAN existent actuellement
 - ☞ Gestion par le CiA : «CAN in Automation group»

- ❑ Le CiA :
 - ☞ Organisation basée à Erlangen (Allemagne)
 - ☞ Groupement d'industriels (250)
 - ☞ But : fournir la technique, des produits, des informations, du marketing et promouvoir CAN
 - ☞ Supporte différentes couches application pour CAN

- ✓ CAL (CAN Application Layer) :
 Est maintenu par le CiA et peut être obtenu gratuitement sans royalties. Les spécifications peuvent être obtenues auprès du CiA (CiA DS-201...207) (bibliothèque en langage C)

- ✓ CANopen :
Version simplifiée de CAL supportée par le CiA

- ✓ DeviceNet :
Version développée par Rockwell/Allen-Bradley. Licence à acquérir au préalable. Pas de royalties. Approuvé par le CiA. La couche applicative est portée sur Ethernet/TCP/IP (projet EtherNet/IP)

- ✓ SDS (Smart Distributed System) :
Version développée par Honeywell. Pas de royalties. Approuvé par le CiA

- ☐ Contacts :
Revendeurs de composants habituels

I+ME/ACTIA/AIXIA
4, chemin de Pouvoirville
BP 4215
31432 TOULOUSE

CiA
Am Weichselgarten 26
D 91058 ERLANGEN
Allemagne

SOLUTION 4 : LONWORKS

Le bus de terrain LonWorks

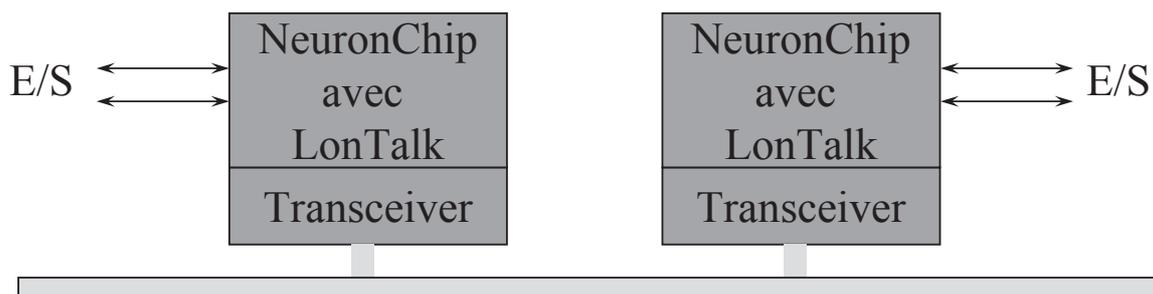
- LonWorks est un standard de fait propriétaire développé par la société Echelon
- LonWorks respecte le modèle OSI complet (couches 1 à 7) contrairement au bus de terrain « classique » (couches 1,2 et 7)
- LonWorks est une solution récente (1988)

application	7
représentation	6
session	5
transport	4
réseau	3
LLC	2
MAC	1
physique	1

- ❑ LonWorks est à ranger dans la catégorie des bus de terrain. Il permet néanmoins d'opérer au niveau supérieur (atelier)

- ❑ LonWorks est beaucoup utilisé dans l'industrie (voir p 37)
 - ✓ 1000 produits LonWorks (1996)
 - ✓ 4 millions de nœuds LonWorks (1997)
 - ✓ 75 produits différents proposés par Echelon

- ❑ LonWorks est bâti autour de 3 briques importantes :
 - ☞ Circuit NeuronChip : composé de 3 microcontrôleurs 8 bits pour la gestion des protocoles et des E/S
 - ☞ Protocoles de communication LonTalk en firmware dans le circuit NeuronChip
 - ☞ Transmetteur (« transceiver ») propre et adapté à différents supports de transmission



- ❑ Echelon propose aussi 75 produits différents :
 - ☞ Circuit NeuronChip : source Motorola et Toshiba
 - ☞ Transceivers
 - ☞ Routeurs et ponts (niveau réseau 3)
 - ☞ Passerelles vers LonWorks par bus ISA, VME... ou par RS.232
 - ☞ Outils de développement
 - ✓ Construction de réseau LonWorks : LonBuilder
 - ✓ Construction de nœud LonWorks : NodeBuilder
 - ☞ Outils de supervision : LonManager

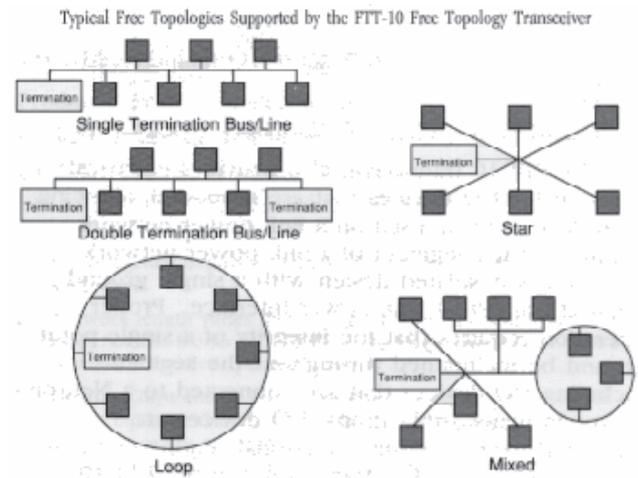


Prix élevés !!!

- ❑ Couche physique : (dépend essentiellement du transceiver utilisé)
 - ☞ Médium : paire torsadée, câble coaxial, courant porteur, FO
 - ☞ Topologie : anneau, bus, étoile ou libre
 - ☞ Nombre max de noeuds : 32385 par domaine
 - ☞ Débit brut de 2 kb/s à 1,25 Mb/s suivant transceiver
(PLT-20 : 2kb/s, XF-1250 : 1,25 Mb/s)
 - ☞ Longueur maximale dépendant de la topologie, du transceiver et du débit
(de 500 m à 2700 m)
 - ☞ Codage de type Manchester

☐ Couche physique : exemple du transceiver FTT-10

- ☞ Médium : paire torsadée
- ☞ Topologie : anneau, bus, étoile ou libre
- ☞ Nombre max de noeuds : 64
- ☞ Débit brut de 78 kb/s
- ☞ Longueur maximale de 500 m en libre à 2700 m pour bus avec double terminaison
- ☞ Utilisateur de répéteur possible



source : LonWorks

☐ Transceiver FTT-10 : détails techniques

Fonction : Free topology, transformer-isolated twisted pair transceiver

Data Communications Type : Differential Manchester coding

Network Polarity : Polarity insensitive

Clock Rates : Selectable 1.25, 2.5, 5, or 10 MHz input clock. Clock supplied by Neuron Chip

Transmission Speed : 78 kilobits per second

Number of transceivers per Segment : Up to 64, depending on number of LPT-10

Network Wiring : 22 to 16AWG twisted pair

Network Length in free topology :

< 1000 m (3,280 feet) maximum total

< 500m (1,640 feet) maximum total wire

< 500m (1,640feet) maximum node-to-node distance

Network length in Doubly-Terminated Bus Topology :

< 5400 m (17,710 feet) with one repeater

< 2700 m (8,850 feet) with no repeaters

Maximum Stub Length in Doubly Terminated Bus Topology :3m (9-8 feet)

Network Termination :One terminator in free topology; two terminators in bus topology

Packaging : Transformer and chip-on-board hybrid

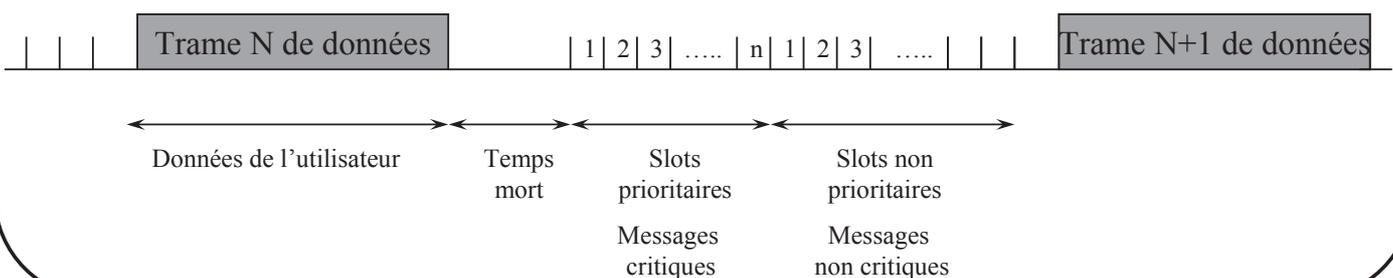
FTT-10 Free Topology Transceiver Number Ordering : 50050 01

☐ Couche liaison :

- ☞ Méthode d'accès de type CSMA/CA pour gérer les collisions possibles (brevet Echelon)
- ☞ Utilisation d'un code CRC 16 bits
- ☞ Trame de données d'au plus 256 octets
- ☞ Communications multimaître

☐ Couche liaison :

- ☞ Pour émettre des données, demande d'accès au médium par tirage d'un IT (slot) non prioritaire
- ☞ Déterminisme (IT prioritaires pour transfert de messages prioritaires)



Couche réseau :

- ☞ Possibilité de réaliser du « subnetting » par filtrage des adresses par un routeur

Couches supérieures :

- ☞ Conformes aux fonctionnalités définies dans le modèle OSI
- ☞ Utilisation d'une spécification des messages de type MMS

Contacts :

Echelon France
2 parc Ariane
rue Hélène Boucher
78284 GUYANCOURT Cedex
01.30.48.97.00

<http://www.lonworks.echelon.com>

Groupe d'utilisateurs LonWorks
<http://www.lonusersfrance.com>

Il existe une association (LonMark) s'assurant de l'interopérabilité des produits LonWorks (<http://www.lonmark.org>)



SOLUTION 5 : PROFIBUS

Le bus de terrain Profibus

Profibus est un réseau de terrain normalisé répondant aux normes :

- ☞ EN 50170
- ☞ EN 50254
- ☞ IEC 61158

Profibus autorise le dialogue de matériel multiconstructeurs pour la transmission de données rapides (déterminisme) mais aussi pour les échanges de grandes quantités d'informations (non déterministes)

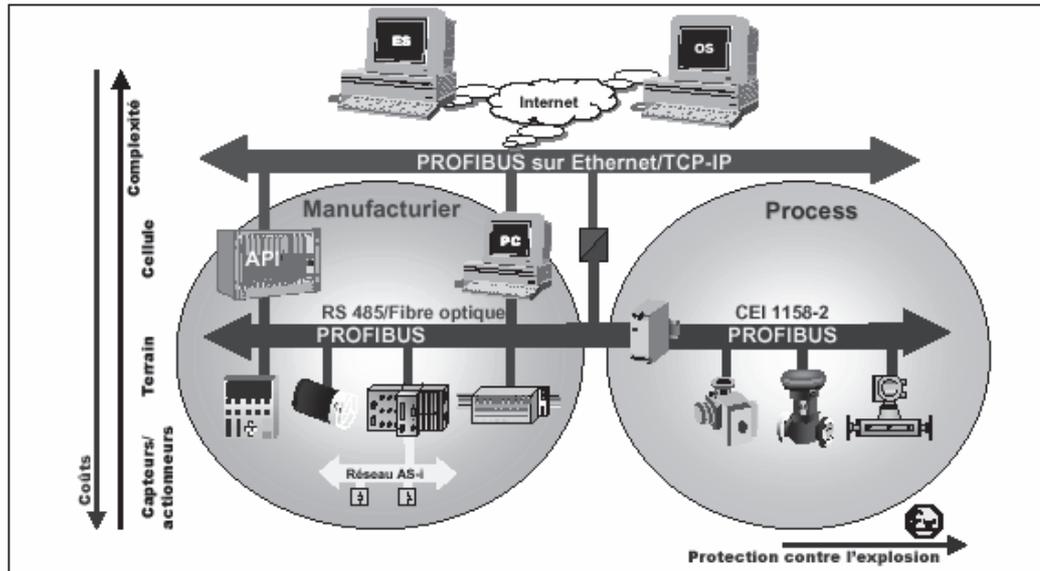


Fig. 1 : Les outils de communication de l'entreprise industrielle et leur place au sein de l'usine

- ☐ Profibus possède 2 protocoles de transmission ou profils de communication :
 - ☞ profil de communication DP (Decentralized Periphery) : le plus répandu, simple et performant
 - ☞ profil de communication FMS (Fieldbus Message Specification) : plus évolué pour des tâches complexes
- ☐ Profibus utilise 3 type de supports de transmission :
 - ☞ RS-485
 - ☞ IEC 1158-2 (voir bus FF)
 - ☞ fibre optique
 - ☞ utilisation d 'Ethernet ?
- ☐ Profibus définit des profils applicatifs conjuguant profils de communication et supports de transmission adaptés à un type d 'application
 - ☞ profil PROFIBUS-PA

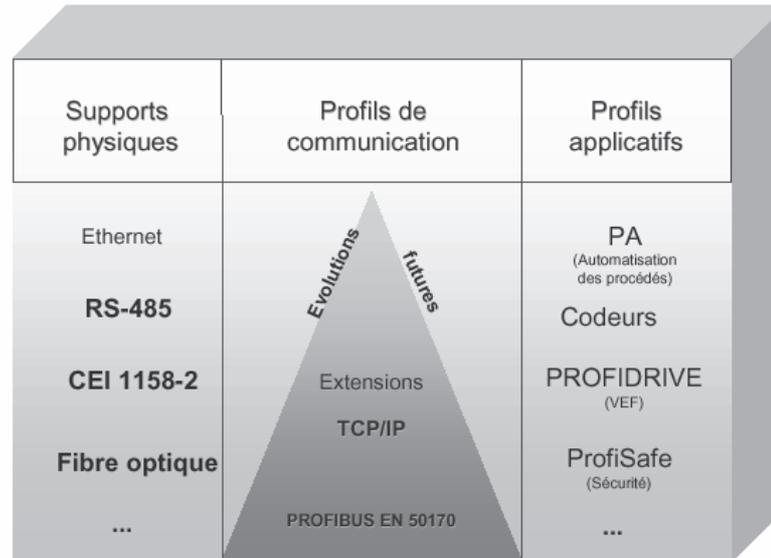


Fig. 2 : Les trois grandes familles de profil PROFIBUS et la convergence de PROFIBUS et d'Ethernet

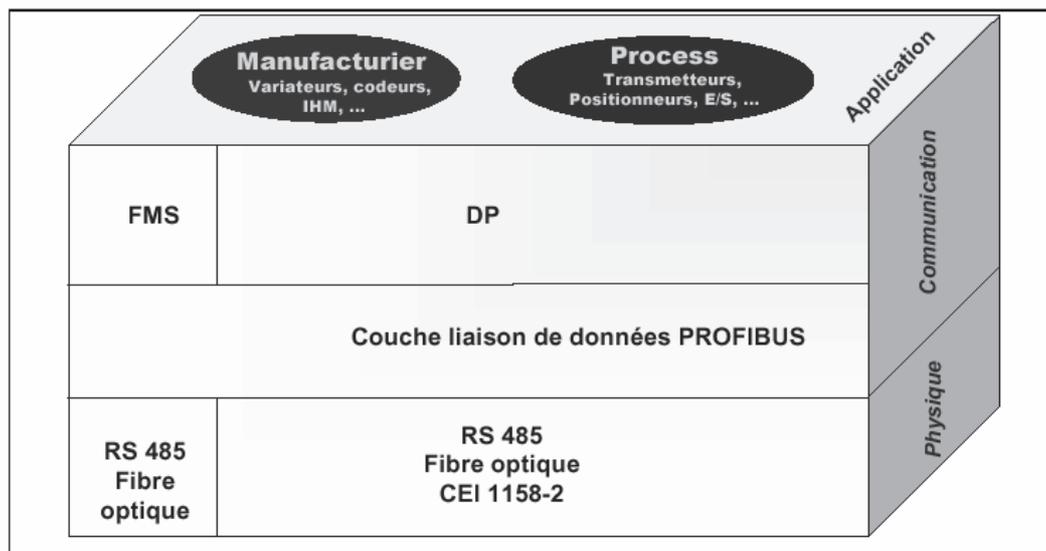


Fig. 3 : Vue d'ensemble de la technologie PROFIBUS

❑ Profibus est un réseau multimaître :

- ☞ maître : pilote la transmission de données sous réserve d'avoir le droit d'accès au réseau
- ☞ esclave : pas le droit d'accès au réseau. Acquiesce le message reçu ou transmet des données sur demande du maître

❑ Profibus utilise :

- ☞ la méthode du jeton pour les communications intermaître : garantit l'accès au bus au moins une fois à chaque maître dans un temps donné. Le jeton est un droit de parole
- ☞ la méthode maître/esclave : permet au maître possédant le jeton d'accéder à ses esclaves

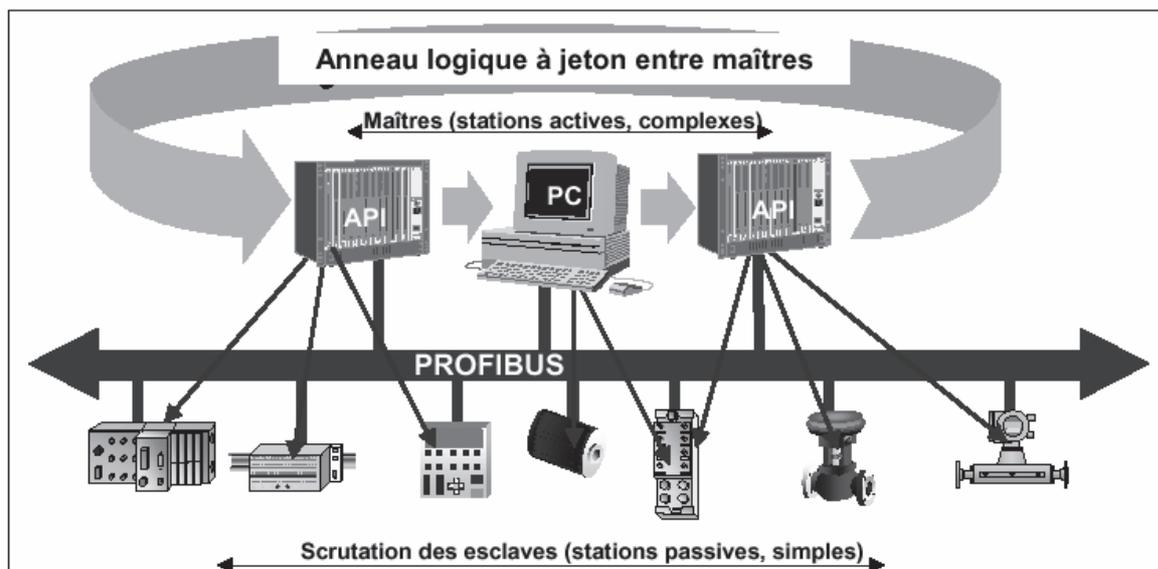


Fig. 8 : La nature hybride de la gestion d'accès à PROFIBUS : configuration maître-esclaves et passage de jeton entre trois maîtres formant un anneau logique.

❑ Profibus respecte le modèle OSI (niveaux 1,2 et 7)

❑ Le profil DP n 'exploite que les niveaux 1 et 2

❑ Le profil FMS exploite les niveaux 1, 2 et 7

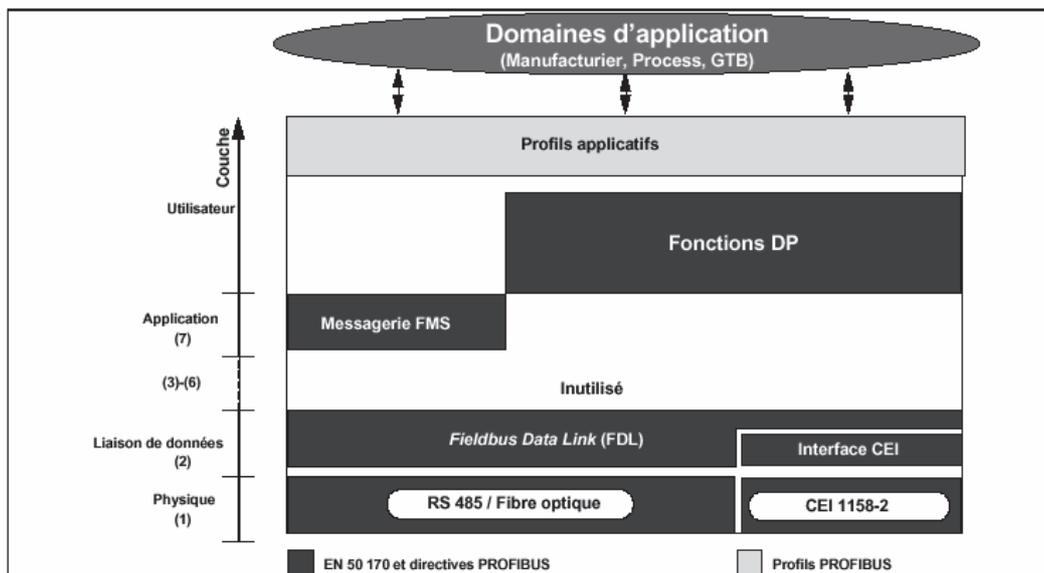
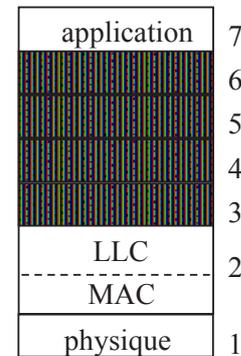


Fig. 4 : L'architecture de communication de PROFIBUS

TRANSMISSION RS-485

- Support le plus utilisé pour sa simplicité sur paire torsadée blindée
- Débits de 9,6 kb/s à 12 Mb/s selon la distance :

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

Table 2 : Correspondances débit/distance pour un câble de type A

- Topologie de type bus avec terminaison de bus. Au plus 32 stations par segment soit au plus 126 stations (maîtres ou esclaves)

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

Table 1 : Principales caractéristiques de la liaison RS 485

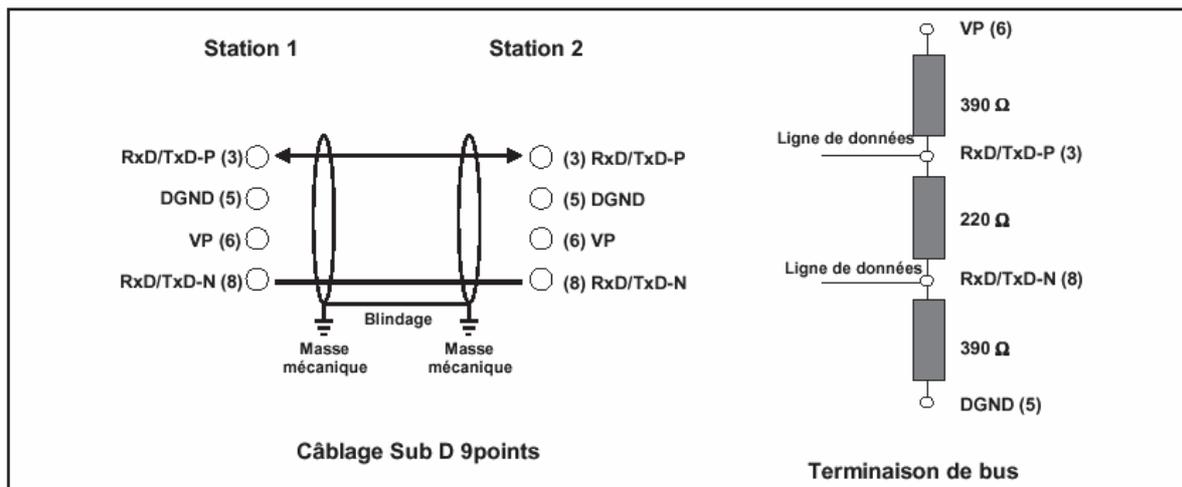


Fig. 6 : Câblage et terminaison de bus de la liaison RS 485 sur PROFIBUS

TRANSMISSION IEC 1158-2

- Transmission synchrone à 31,25 kb/s pour répondre aux exigences de la chimie et pétrochimie : sécurité intrinsèque et téléalimentation pour un fonctionnement en zone dangereuse

Transmission	Numérique, protocole synchrone orienté bit, codage Manchester
Débit	31,25 kbit/s, Mode tension
Sécurisation des données	En-tête, caractères de début et de fin protégés contre les erreurs
Support	Paire torsadée blindée
Téléalimentation	En option, par les lignes de données
Protection en zone explosible	Mode sécurité intrinsèque (EEx ia/ib) et antidéflagrant (EEx d/m/p/q)
Topologie	Linéaire ou arborescente (ou les deux)
Nombre de stations	32 maxi par segment, 126 au total
Répéteur(s)	4 maxi (extension du réseau)

Table 3 : Principales caractéristiques de la liaison CEI 1158-2

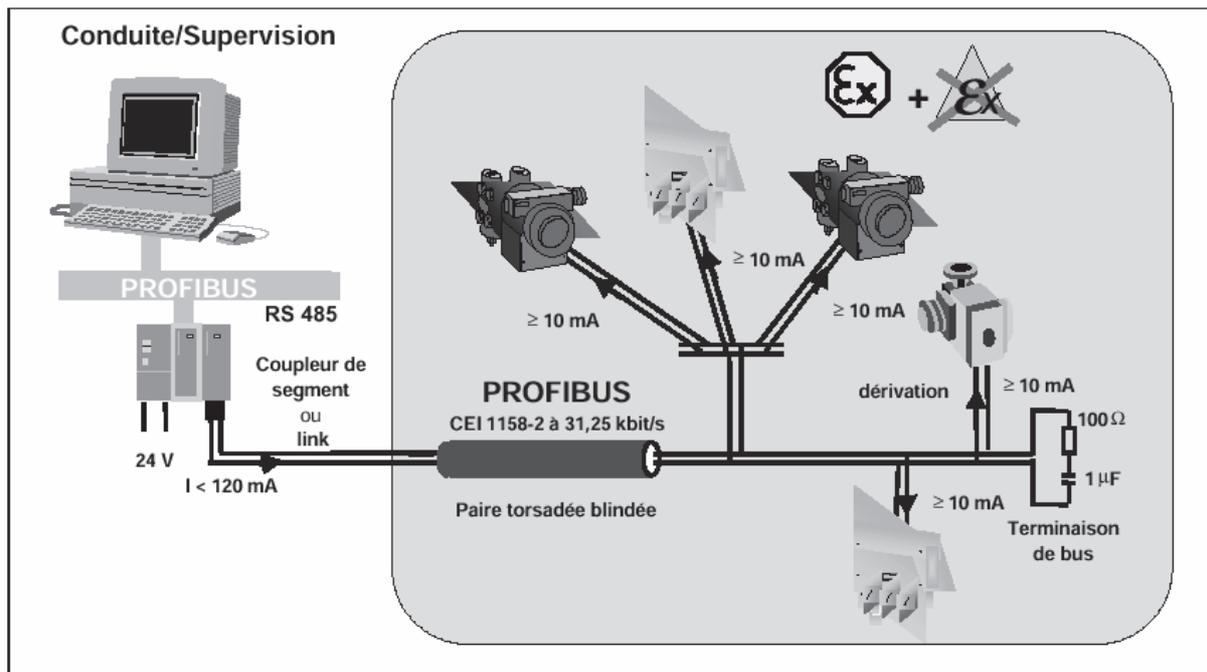


Fig. 7 : Téléalimentation des instruments de terrain sur PROFIBUS en transmission CEI 1158

- Les signaux de transmission sont générés par modulation de +/- 9 mA du courant de base
- La topologie du bus est arborescente et/ou en bus
- Le support de transmission est une paire torsadée blindée avec une terminaison de bus RC

TRANSMISSION FIBRE OPTIQUE

- La FO est utilisée dans les environnements électromagnétiques perturbateurs, pour un isolement électrique ou augmenter la portée du réseau et le débit
- La topologie par segment est du type en étoile et en anneau

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

Table 7 : Propriétés de la fibre optique

PROFILS DE COMMUNICATION DP ET FMS

- Mise en œuvre d'un protocole de niveau 2 FDL (Fieldbus Data Link) pour assurer :
 - ☞ que tout automatisme dispose d'assez de temps pour effectuer ses tâches de communication dans un délai imparti
 - ☞ une transmission cyclique, temps réel, simple et rapide entre un maître et ses esclaves

Service	Fonction	DP	FMS
SDA	Emission de données avec acquittement		•
SRD	Emission et demande de données avec réponse	•	•
SDN	Emission de données sans acquit	•	•
CSRD	Emission et demande de données cycliques avec réponse		•

Table 8 : Les différents services de la couche de sécurisation de données de PROFIBUS (couche 2)

PROFIL DE COMMUNICATION DP

- ❑ DP est destiné aux échanges rapides et principalement cycliques (EN50170)
- ❑ Le maître lit les entrées de ses esclaves et écrit leurs sorties de façon cyclique dans un temps inférieur à celui du programme de l'automatisme (< 10ms)
- ❑ Des échanges optionnels, évolués et acycliques sont possibles pour le paramétrage, surveillance, alarmes... (directive PROFIBUS 2042)

Méthode d'accès <ul style="list-style-type: none"> • Passage de jeton entre maîtres et mode maître-esclave entre maître et esclaves • Possibilité de configuration monomaître ou multimaître • Nombre maxi de stations sur le bus : 126 (maîtres et esclaves confondus)
Communication <ul style="list-style-type: none"> • Procédure équilibrée (transmission des données utilisateur) ou multidiffusion (commandes) • Transmission cyclique des données utilisateur entre maître et esclaves
Modes d'exploitation <ul style="list-style-type: none"> • <i>Operate</i> : Transfert cyclique d'entrées/sorties • <i>Clear</i> : Lecture des entrées et maintien des sorties en sécurité • <i>Stop</i> : Diagnostic et paramétrage (pas de transmission de données utilisateur)
Synchronisation <ul style="list-style-type: none"> • Les commandes permettent la synchronisation des entrées et des sorties. • Mode <i>Synchro</i> : synchronisation des sorties • Mode <i>Freeze</i> : synchronisation des entrées
Fonctionnalités <ul style="list-style-type: none"> • Transfert cyclique des données utilisateur entre maître et esclave(s) DP • Connexion ou déconnexion dynamique de chaque esclave • Contrôle de la configuration des esclaves • Puissantes fonctions de diagnostic sur 3 niveaux hiérarchiques • Synchronisation des entrées et/ou des sorties • Possibilité d'adressage des esclaves sur le bus (option) • Maximum de 244 octets d'entrées et de sorties par esclave
Sécurisation des données <ul style="list-style-type: none"> • Distance de Hamming = 4 • Au niveau de l'esclave DP, détection par chien de garde d'une défaillance du maître correspondant • Protection de l'accès aux entrées/sorties des esclaves • Surveillance de la transmission des données utilisateur par minuterie de surveillance réglable au niveau du maître
Types d'équipement <ul style="list-style-type: none"> • Maître DP de classe 2 (DPM2) : outil de développement ou de diagnostic • Maître DP de classe 1 (DPM1) : contrôleur de cellule (API, PC...) • Esclave DP : appareil de terrain (E/S TOR ou analogiques, commande de moteur, vanne...)

Table 9 : Les fonctions de base du profil DP

☐ Points importants de DP :

- ☞ simplicité d'installation et d'exploitation
- ☞ fonctions de diagnostic puissantes pour localiser les défauts
- ☞ immunité aux parasites
- ☞ vitesse : 1 ms à 12Mb/s pour 512 bits d'entrée et 512 bits de sortie à 32 esclaves en un seul message

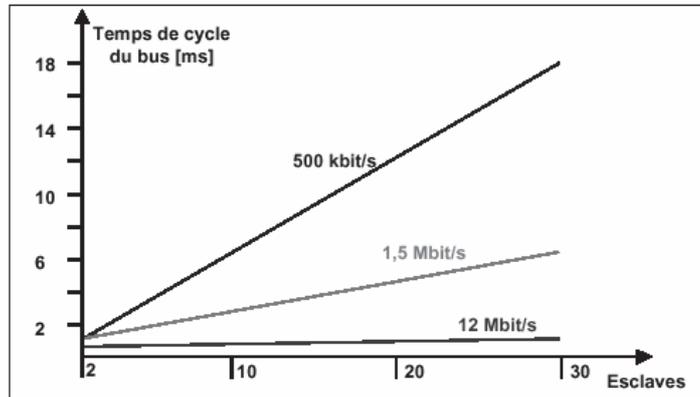


Fig. 9 : Temps de cycle du bus dans une configuration DP monomaitre

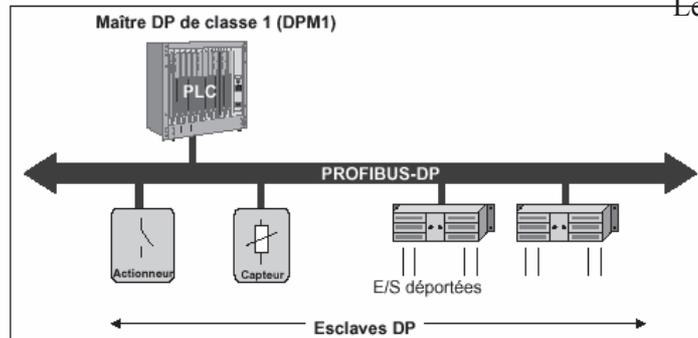


Fig. 10 : Le réseau DP en configuration monomaitre

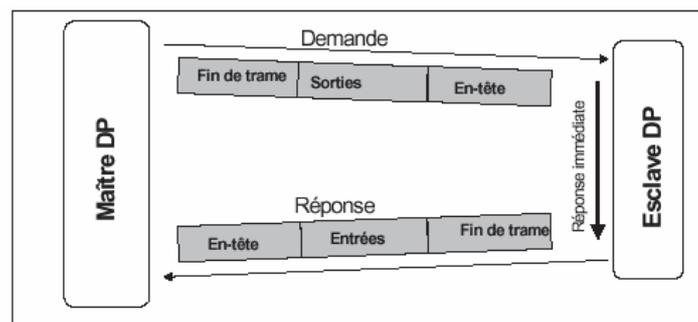


Fig. 11 : Les deux trames de transmission cyclique de données utilisateur dans DP

☐ Fonctions étendues de DP :

- ☞ facultatives
- ☞ transmission acyclique de lecture/écriture d'alarmes
- ☞ non prioritaire parallèlement aux données cycliques prioritaires :
il faut donc ménager un temps supplémentaire pour mener à bien ces services dans le temps de rotation du jeton
- ☞ travail sur des blocs de données (comme DP) au plus 244 octets

PROFIL DE COMMUNICATION FMS

- ☐ FMS est réservé à la communication évolué au niveau cellule en privilégiant la richesse fonctionnelle au temps de réponse
- ☐ FMS est défini au niveau 7 du modèle OSI et est basé sur MMS (ISO 9506)
- ☐ FMS utilise une approche objet : objet de communication (variable simple, tableau, structure, événement...) défini dans un dictionnaire d'objets

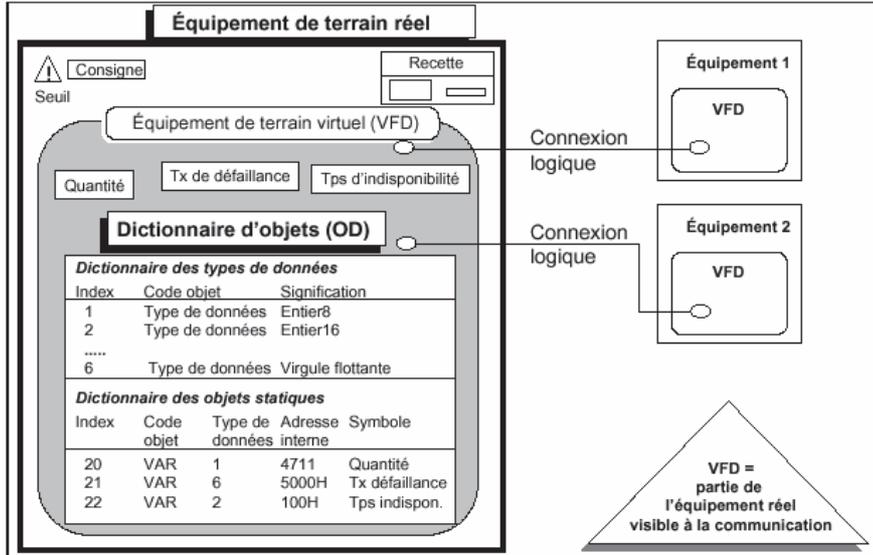


Fig. 13 : Équipement de terrain virtuel (VFD) et dictionnaire d'objets (OD)

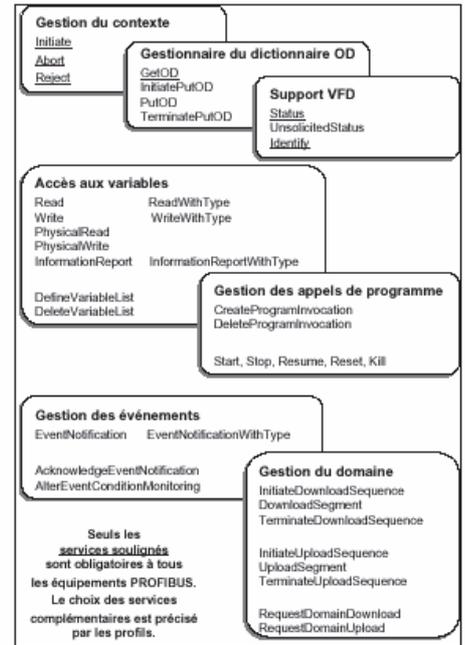


Fig. 14 : Récapitulatif des services FMS

PROFILS APPLICATIFS

- ❑ Les profils applicatifs décrivent l'emploi des profils de communication et des profils physiques pour certaines applications
- ❑ Profil applicatif PA : automatisation des procédés (PROFIBUS-PA)
 - ☞ Directive PROFIBUS 3042
 - ☞ Utilise DP sur transmission IEC 1158-2
 - ☞ Assurance de l'interopérabilité
 - ☞ Ajout et retrait sans perturbation même en zone intrinsèque
 - ☞ Téléalimentation
 - ☞ Utilisation possible en zone explosive

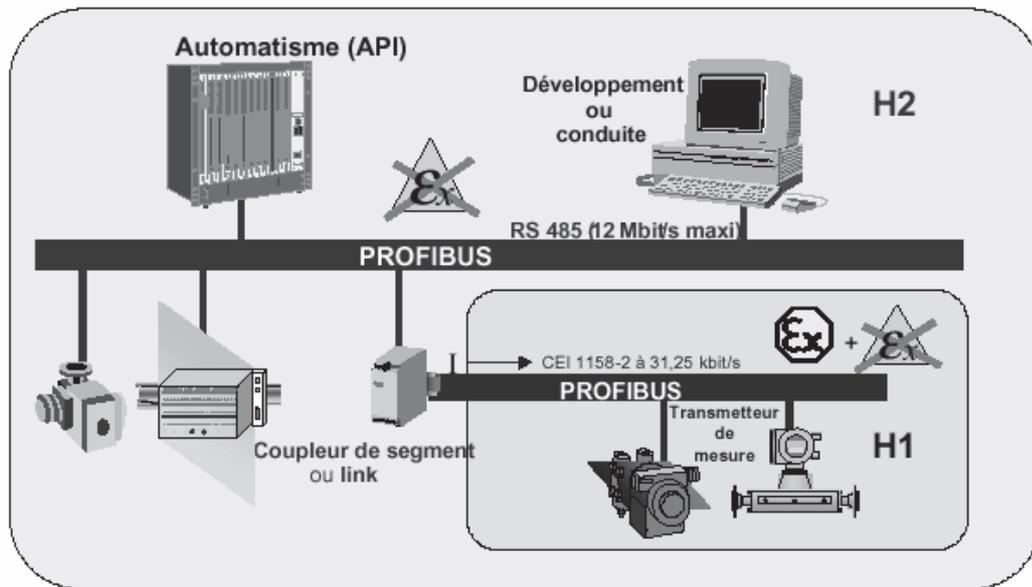


Fig. 16 : Exemple de réseau PROFIBUS adapté à l'industrie des procédés

- Profil applicatif PROFISafe : profil sécurité
 - ☞ directive PROFIBUS 3092
 - ☞ raccordement d'équipements à sécurité intrinsèque
 - ☞ basé sur DP sur transmission IEC 1158-2, RS-485 et FO

- Profil applicatif GTB : Gestion Technique du Bâtiment
 - ☞ directive PROFIBUS 3011
 - ☞ automatisation du bâtiment

- ...

- ☐ Offre importante allant :
 - ☞ du composant d'interface
 - ☞ au module d'interface complet

Fournisseur	Circuit	Type	Caractéristiques	FMS	DP	Ajout µC	Ajout protocole logiciel	Débit
AGE	Agent-PB	Maître/Esclave	Puce de protocole universelle sur FPGA	●	●	●	●	12 Mbit/s
IAM	PBM	Maître	Puce de protocole périphérique	●	●	●	●	3 Mbit/s
M2C	IX1	Maître/Esclave	Une seule puce ou puce de protocole périphérique	●	●	— / ●	— / ●	3 Mbit/s
Siemens	SPC4	Esclave	Puce de protocole périphérique	●	●	●	●	12 Mbit/s
Siemens	SPC3	Esclave	Puce de protocole périphérique	—	●	●	●	12 Mbit/s
Siemens	DPC31	Esclave	Puce de protocole avec µC intégré	—	●	— / ●	●	12 Mbit/s
Siemens	ASPC2	Maître	Puce de protocole périphérique	●	●	●	●	12 Mbit/s
Siemens	SPM2	Esclave	Une seule puce, 64 bits d'E/S directement raccordables à la puce	—	●	—	—	12 Mbit/s
Siemens	LSPM2	Esclave	Une seule puce économique, 64 bits d'E/S directement raccordables à la puce	—	●	—	—	12 Mbit/s
PROFICHIP	VPC3+	Esclave	Puce de protocole périphérique	—	●	●	●	12 Mbit/s
PROFICHIP	VPC LS	Esclave	Une seule puce économique, 32 bits d'E/S directement raccordables à la puce	—	●	—	—	12 Mbit/s

Table 11 : Les différents ASICs PROFIBUS du marché

INDUSTRIAL ETHERNET

SOLUTION 6 : ETHERNET

- Ethernet est une technologie de plus en plus utilisée comme solution de communication dans l'industrie
- Utilisation inéluctable dans les ateliers : technologie banalisée, performante, fiable, peu onéreuse
- Son point faible : son indéterminisme dû à la méthode d'accès CSMA/CD
- Mais Ethernet sera incontournable pour mettre en œuvre des programmes d'automatisation répartis d'autant plus que les flux de données ne cessent de croître

Ethernet comme bus de terrain ?

- Interface Ethernet bon marché
- Compatibilité avec les solutions informatiques de gestion
- Protocoles banalisés ouverts et utilisables immédiatement
- Augmentation constante des débits : 10, 100, 1000 Mb/s
- Contraintes déterministes atteintes grâce à l'utilisation conjointe de switches avec des débits élevés

- ☹ Câblage complexe et onéreux (hub, switch...).
- ☹ Connectique non adaptée au milieu industriel (RJ45 vs M12)
- ☹ Sécurité du réseau non assuré
- ☹ Protocoles classiques non adaptés aux contraintes industrielles
- ☹ Contraintes temporelles non garanties

LES ALTERNATIVES ETHERNET INDUSTRIELLES

- ☐ 4 alternatives existent (et s'affrontent) :
 - ☞ Initiative EtherNet/IP de Rockwell
 - ☞ Projet ProfiNet de Siemens
 - ☞ Spécification HSE de Fieldbus Foundation
 - ☞ Initiative IDA soutenue par Schneider Electric

- ☐ 2 grandes catégories de solutions techniques :
 - ☞ Solutions qui encapsulent les données dans une trame Ethernet ou paquet TCP/UDP
 - ☞ Solutions qui utilisent des passerelles ou des serveurs « proxy »

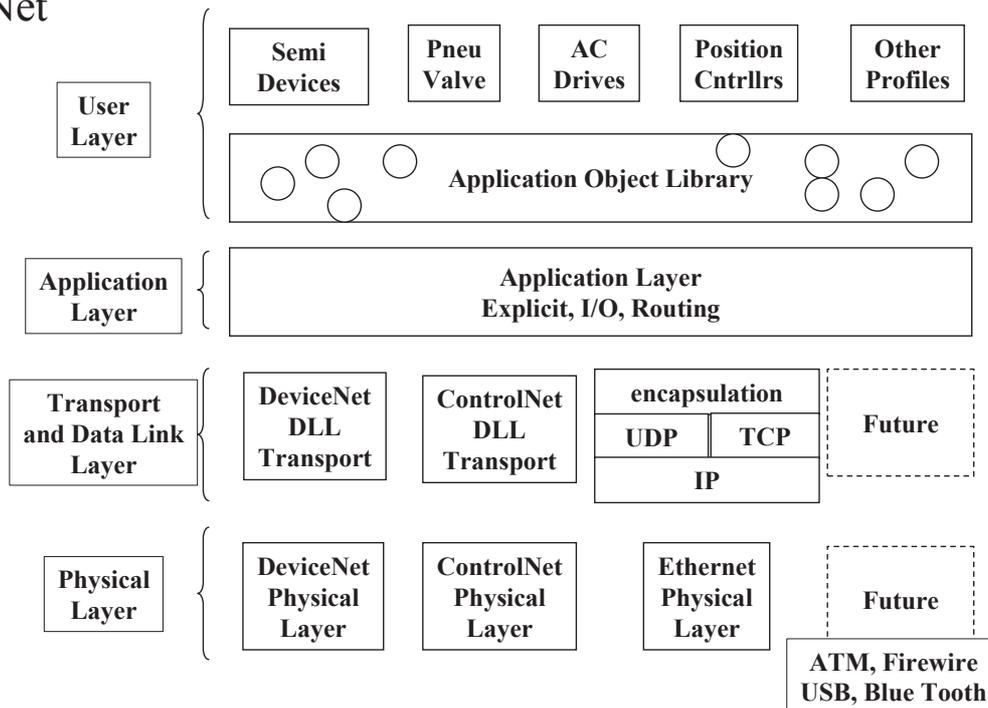
INITIATIVE EtherNet/IP

EtherNet/IP

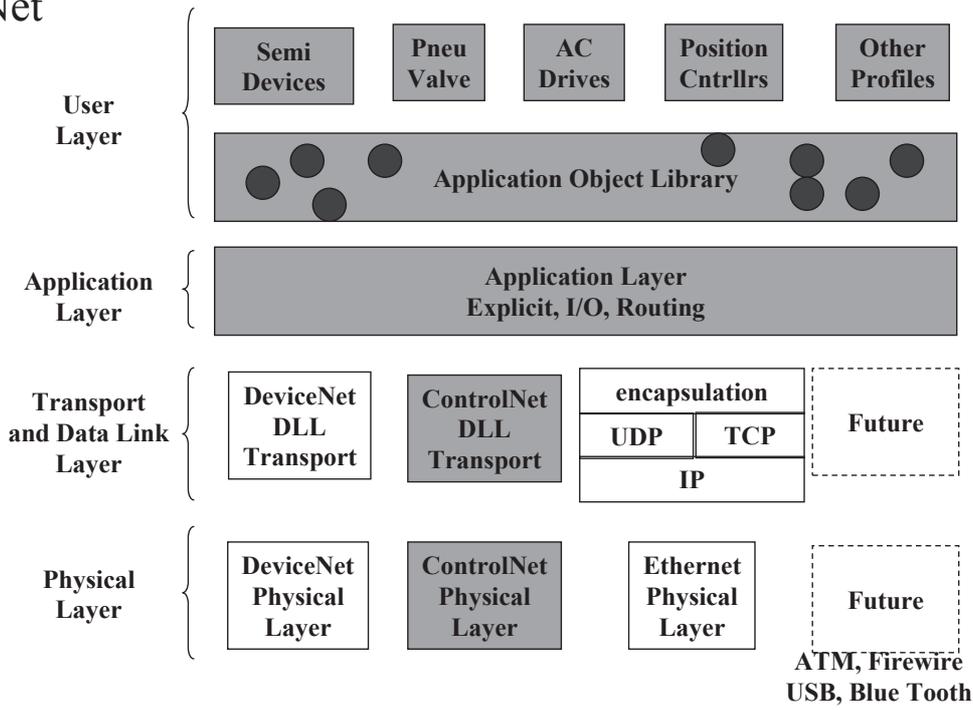
- Acronyme de EtherNet/Industrial Protocol

- Encapsulage de messages deviceNet ou ControlNet dans un paquet TCP ou UDP

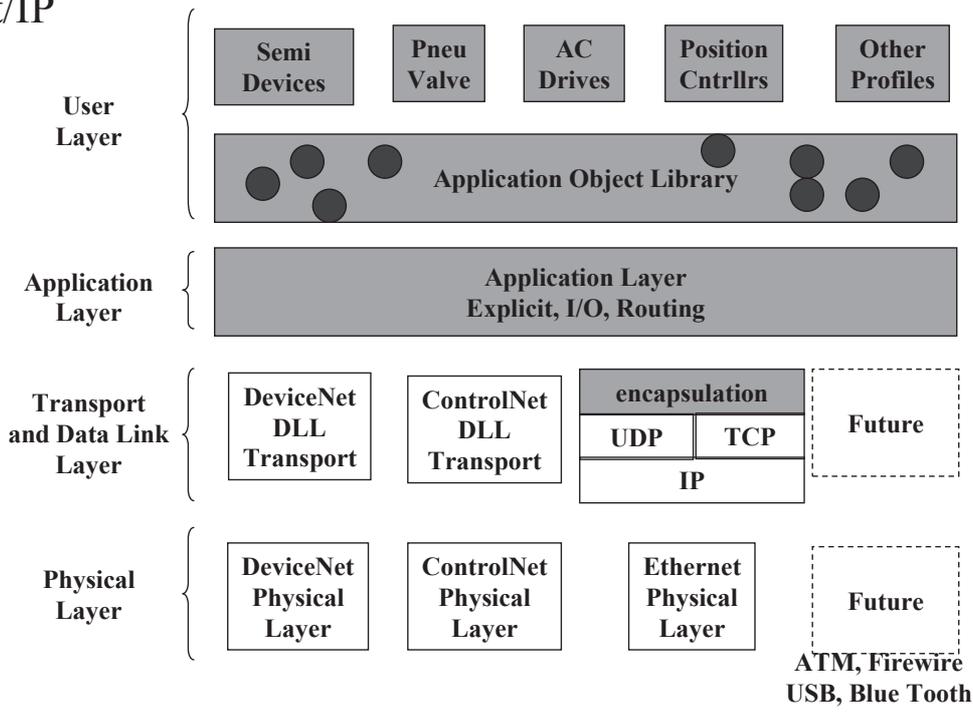
DeviceNet



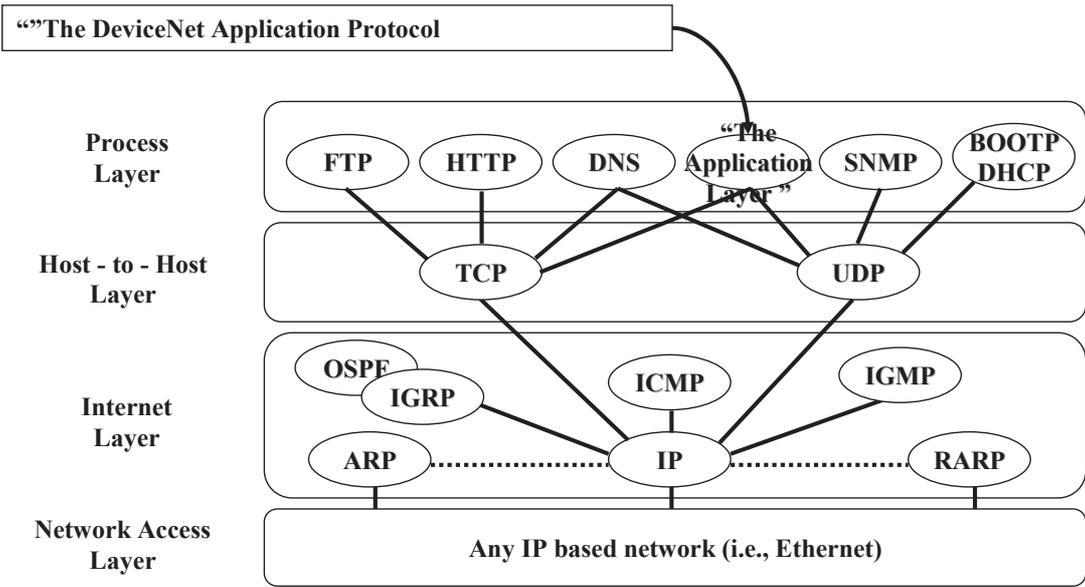
ControlNet



EtherNet/IP



EtherNet/IP



EtherNet/IP

The power of EtherNet/IP is that it allows these improvements to migrate to control applications.

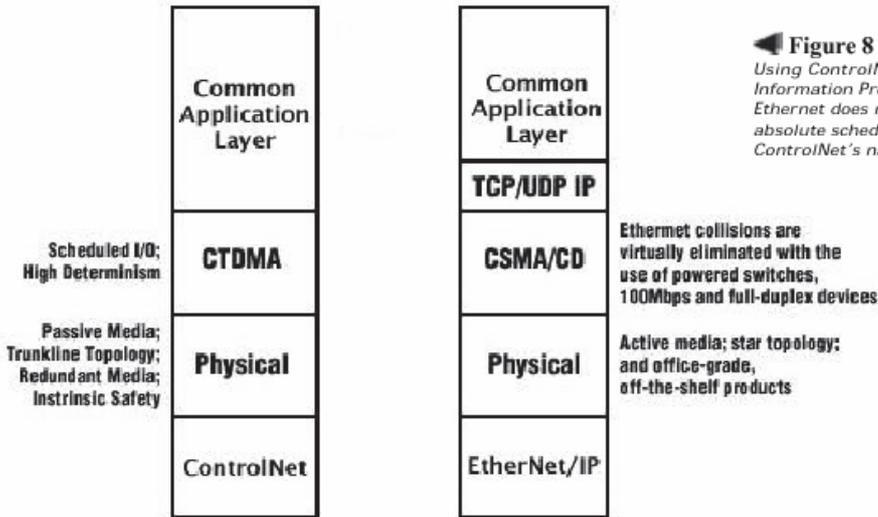


Figure 8 Using ControlNet's Control and Information Protocol (CIP) on Ethernet does not provide the absolute scheduled determinism of ControlNet's native data-link layer.

- ❑ Acronyme de High Speed Ethernet de Fieldbus Foundation (FF)
- ❑ Fédération des bus de terrain supportant le mode de transmission H1
- ❑ HSE est basé sur l'encapsulation du protocole H1 dans une trame Ethernet à 100 Mb/s
- ❑ On retrouve dans HSE toutes les caractéristiques de H1 (modèle producteur/consommateur, approche objet...)

- ❑ Couplage direct et transparent à Ethernet par des passerelles informatiques

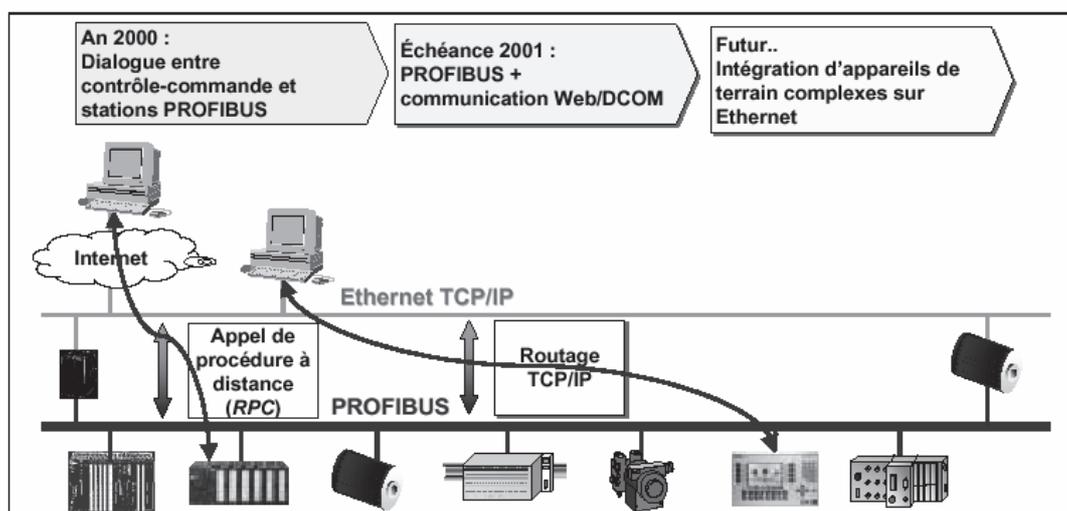
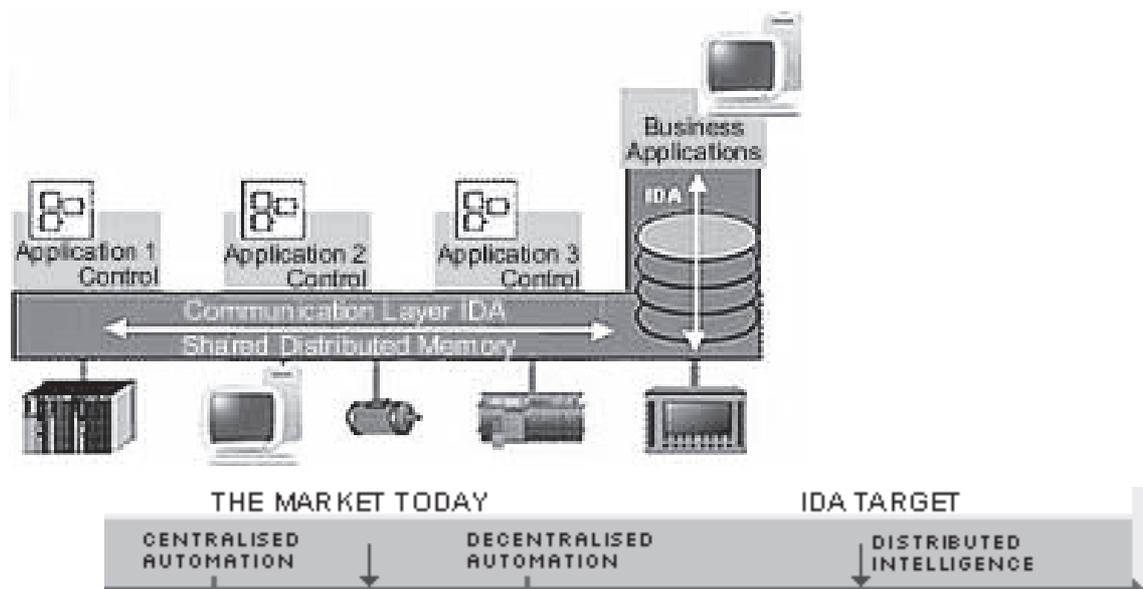
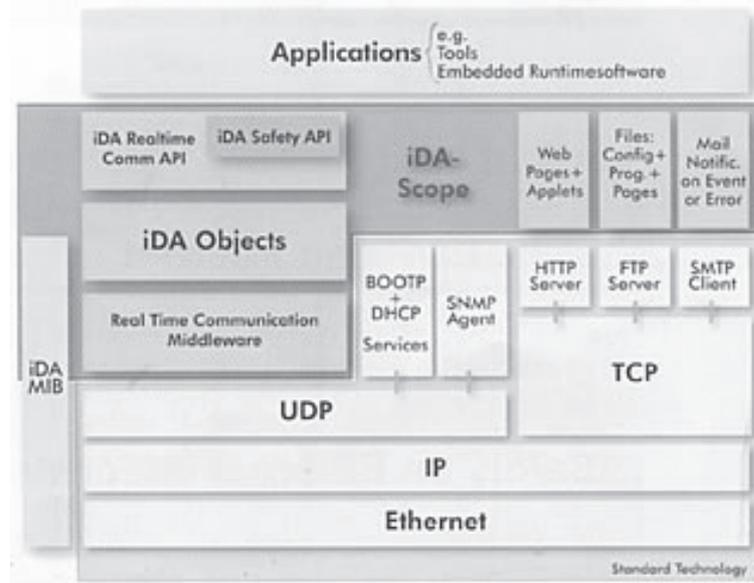


Fig. 23 : Les trois grandes étapes du rapprochement PROFIBUS – Ethernet

- Acronyme de Interface for Distributed Automation
- IDA est basé sur TCP/IP

- Mise en place d'automatismes distribués





☐ IDA supporte des services déterministes (protocoles RTPS sur UDP) et non déterministes

An IDA communication system provides real-time and non-real-time communication services.

The real-time services are used for

- data distribution
- on-demand data exchange
- remote method invocation
- event notification

The non real-time services are used for

- web diagnostics and configuration (HTTP)
- file transfer (FTP)
- network management (SNMP)
- address management (BOOTP / DHCP)
- mail notification (SMTP)

The IDA real-time communication is based on the use of the Real-Time Publish/Subscribe (RTPS) protocol. RTPS uses the UDP protocol.

ET L'ETHERNET AVEC TCP/UDP/IP ?

- Possible dans une certaine mesure si :
 - ☞ Ethernet 100 Mb/s 1000Mb/s
 - ☞ Ethernet commuté
 - ☞ Utilisation du protocole de transport UDP et non TCP

AUTRES BUS DE TERRAIN

Bus de terrain non abordés :

- AS-i
- ControlNet
- HART

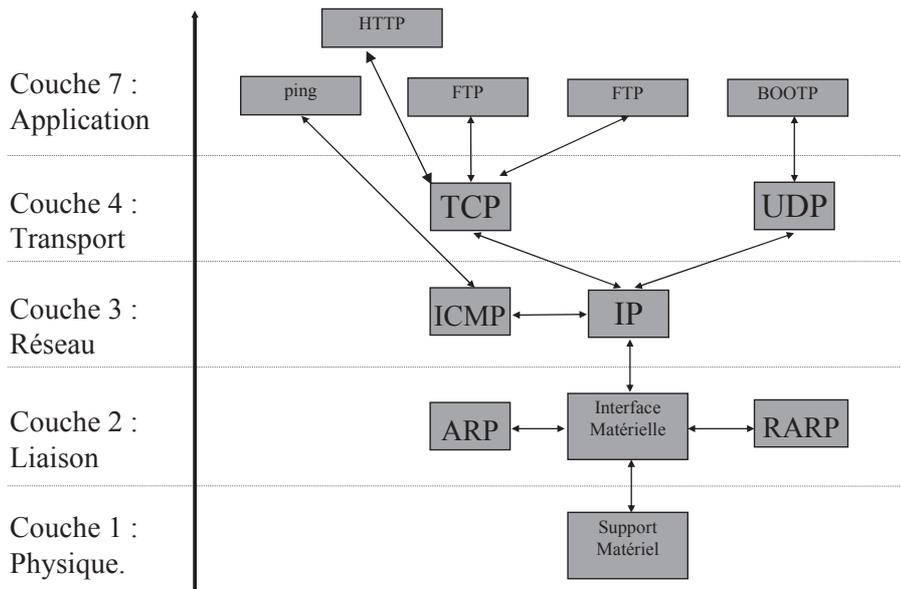
CONNECTIVITE INTERNET

PROTOCOLES DE L'INTERNET

- Internet désigne en fait une famille d'une vingtaine de protocoles dont font partie les protocoles TCP, UDP et IP
- En réseau local, moins d'une dizaine d'entre eux sont utilisés. Internet se positionne d'emblée comme un protocole d'interconnexion de réseaux hétérogènes
- Il est totalement indépendant des couches basses et du support de transmission (Ethernet, Token Ring, X.25...)

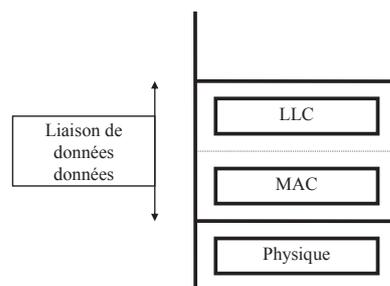
PROTOCOLES DE L'INTERNET

- Internet recouvre les couches 3 à 7 du modèle OSI (*Open System Interconnexion*) sans qu'il puisse y avoir de corrélation précise entre les couches de l'Internet et celles du modèle OSI
- En effet, Internet est bien antérieur au modèle OSI (1983)



Protocoles Internet et modèle OSI

- Une des raisons de la popularité d'Internet provient de l'adaptabilité de ses protocoles à la plupart des réseaux et média.
- Par l'expression "interface matérielle", il faut comprendre le support de transmission associé et sa méthode d'accès MAC (*Medium Access Control*) correspondant globalement aux niveaux 1 et 2 du modèle OSI.

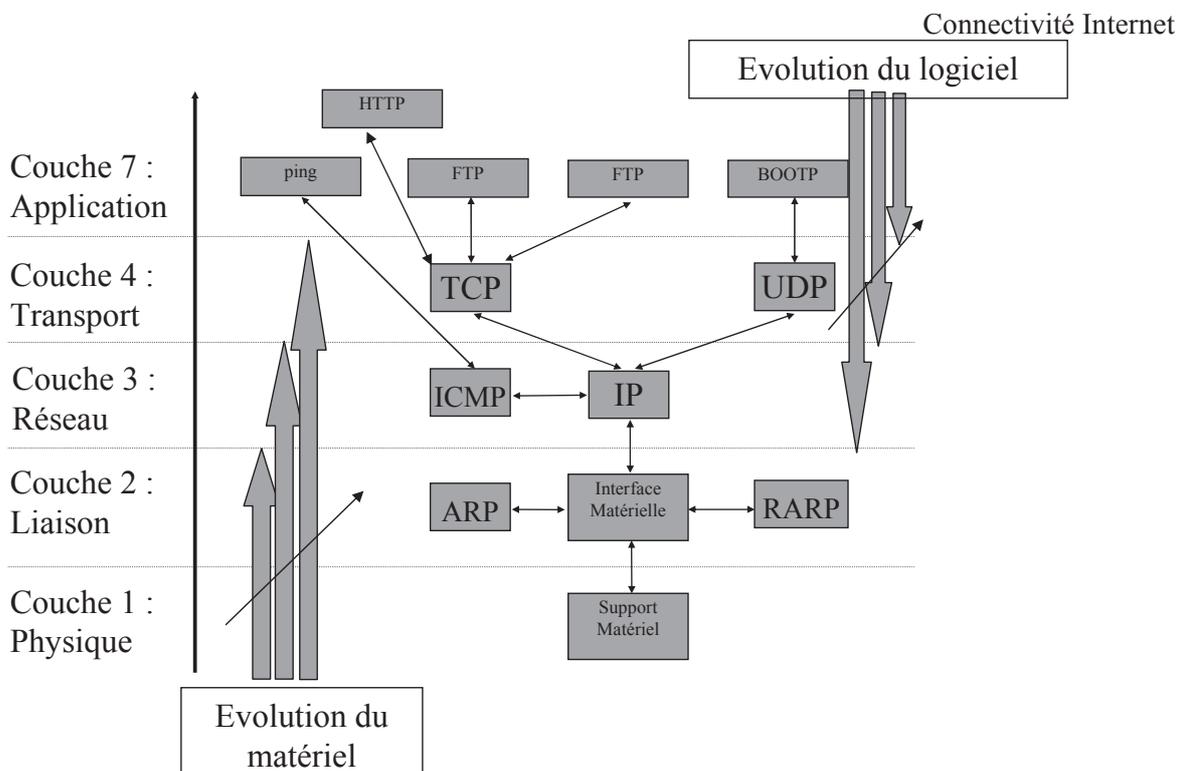


Décomposition des niveaux 1 et 2 des protocoles Internet

CONNECTIVITE IP

Avec une intégration sur silicium de plus en plus importante, les solutions logicielles d'hier deviennent des solutions matérielles d'aujourd'hui avec le gain en rapidité d'exécution et de décharge pour le microprocesseur qui en découle

- Il semble que l'évolution des solutions matérielles se fasse au détriment des solutions logicielles pour le grand bien du concepteur !



FF et Internet

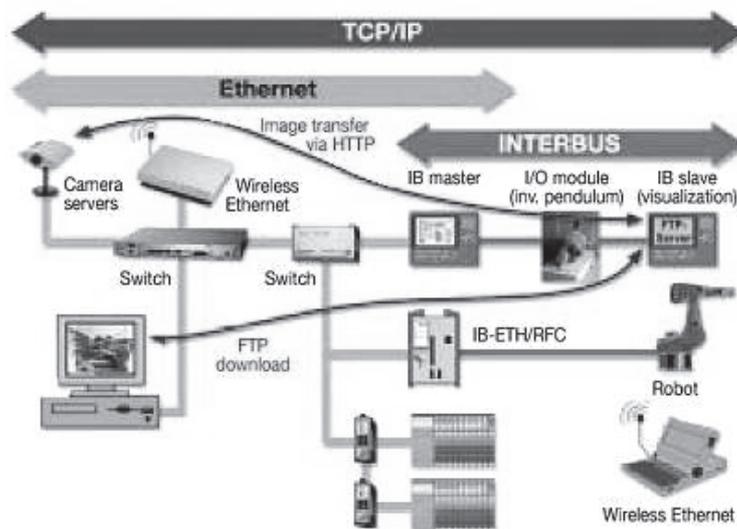
- Evolution en cours sur Ethernet 100 Mb/s :
 - ☞ projet HSE (High Speed Ethernet) (norme IEC 61158)
- HSE est destiné à collecter et distribution l'information mais ne possède pas le déterminisme nécessaire aux applications temps critique
- La connectivité IP est assurée naturellement par HSE

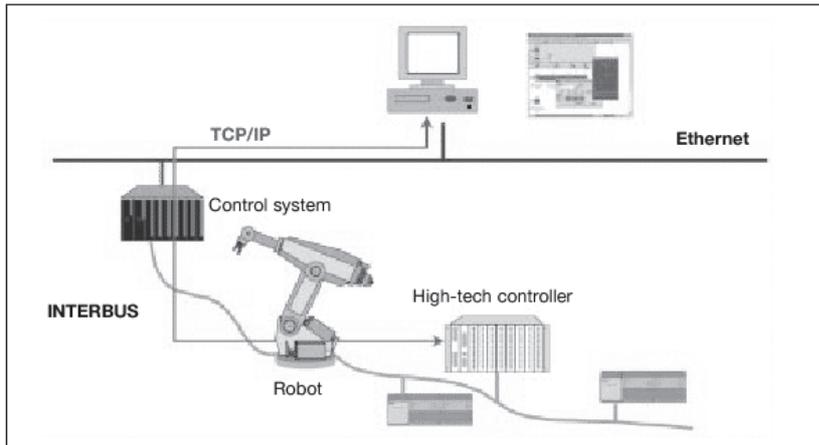
WorldFIP et Internet

- Développement du FIP (Fieldbus Internet Protocol) et embarquement de serveurs WWW dans les automatismes : partage de la bande passante entre le trafic déterministe (actuel) et le flux IP non déterministe grâce à :
FIP HSF (FIP High Speed Fieldbus)
- Développement de FIPweb : miniserveur web (<150 ko)
- Développements futurs : messagerie, multimédia...

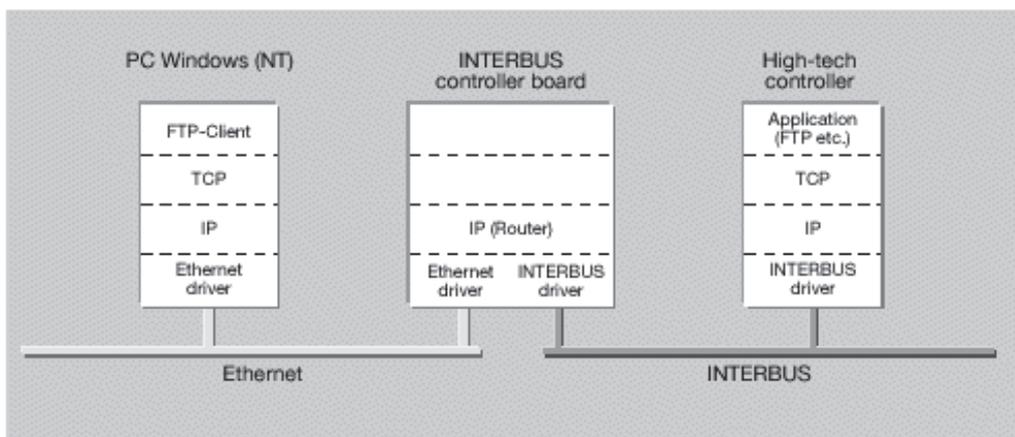
Interbus et Internet

- Développement d'une pile IP et participation au groupe Ethernet IDA (Interface for Distributed Automation) pour assurer une passerelle avec Ethernet





Passerelle TCP/IP - Interbus



Passerelle TCP/IP - Interbus (protocoles)

Lonworks et Internet

- Echelon a signé un accord avec Cisco pour la mise en place d'une passerelle LonWorks - Internet
- Développement d'un serveur IP iLON 10 (10 Mb/s) et iLON 100 (100 Mb/s)

iLON™ 10 Ethernet Adapter Models 77001 and 77002

- ▼ Connects LONWORKS® networks to TCP/IP Ethernet networks for residential, commercial, and utility applications
- ▼ Power line (PL-20) or twisted pair (TP/XF-FT-10) LONWORKS channel support
- ▼ 10 Mbps Ethernet interface
- ▼ MD5 secured communications
- ▼ Compatible with NAT routers for operation behind firewalls
- ▼ Static or acquired (DHCP) IP address
- ▼ Adjustable aggregation and bandwidth cap parameters regulate IP bandwidth utilization
- ▼ Local or remote configuration via built-in configuration web page

PROFIBUS et Internet

□ Couplage direct et transparent à Ethernet

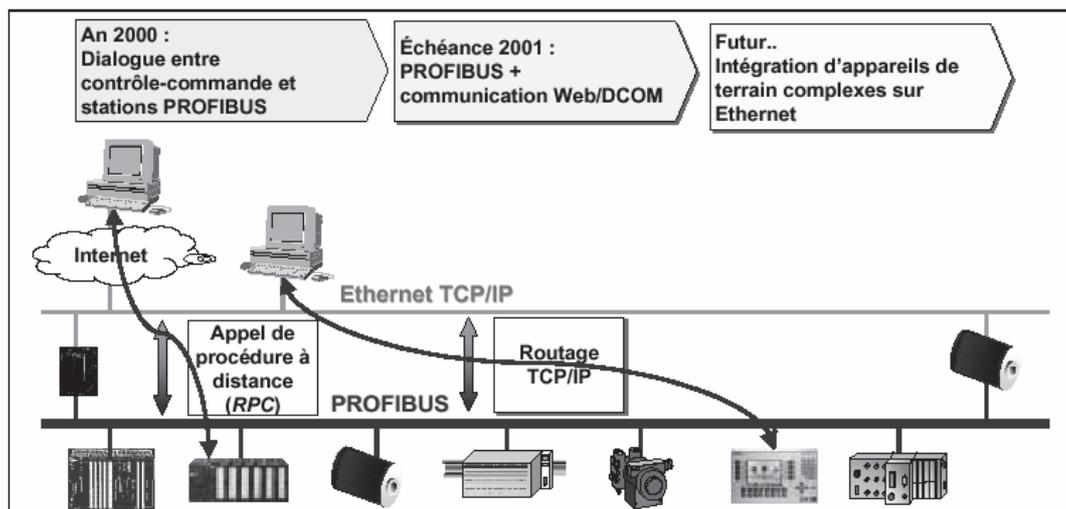
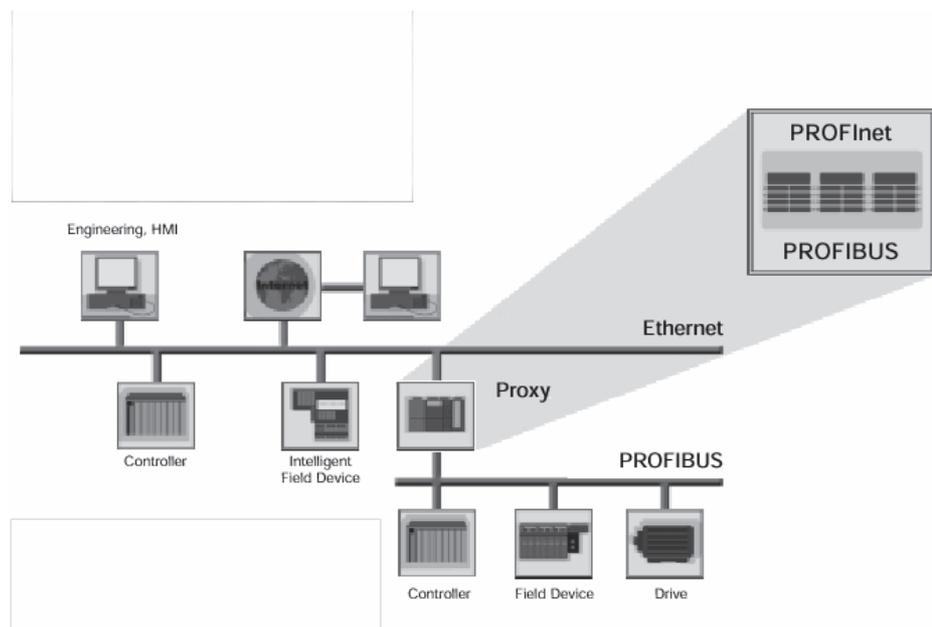
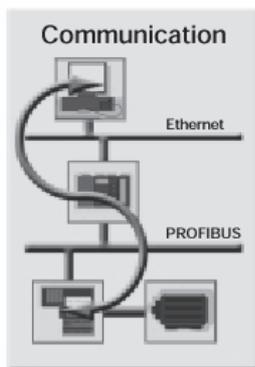


Fig. 23 : Les trois grandes étapes du rapprochement PROFIBUS – Ethernet

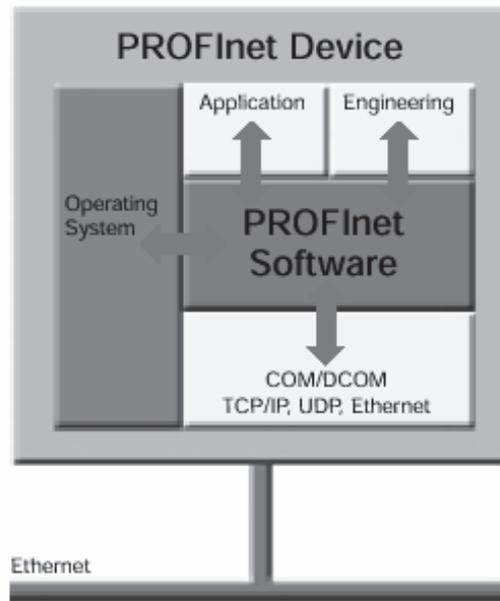
❑ Offre de PROFIBUS : PROFINET

❑ PROFINET est :

- ☞ Basé sur l'utilisation de technologies standards établies et répandues (TCP/IP...)
- ☞ Basé une une approche objet : objet COM/DCOM de Microsoft, manipulation d'objets à l'aide de Microsoft OLE et ActiveX
- ☞ Vendeur indépendant
- ☞ Intégrable à PROFIBUS sans modification
- ☞ Ouvert pour l'intégration d'autres systèmes



Offre PROFINET



Offre PROFINET

CONCLUSION PERSPECTIVES

- ❑ Présentation des concepts et points techniques propres au bus de terrain
 - ☞ Forte analogie avec un réseau de télécommunication
- ❑ Présentation de solutions bus de terrain dignes d'intérêt pour les différents types d'utilisateur
 - ☞ Utilisateur final, fabricant
- ❑ Difficulté de faire le bon choix en terme de :
 - ☞ Caractéristiques techniques
 - ☞ Pérennité et interopérabilité
- ❑ Coexistence de standards de fait et internationaux
 - ☞ Prédominance des standards de fait qui proposent des composants d'interface bon marché

Récapitulatif sur les bus de terrain

BACKGROUND INFORMATION				
Fieldbus Name	Technology Developer	Year Introduced	Governing Standard	Openness
PROFIBUS DP/PA	Siemens	DP-1994, PA-1995	EN 50170 / DIN 19245 part 3(DP) /4 (PA), IEC 1158-2 (PA)	ASICs from Siemens and Profichip, Products from over 300 vendors
INTERBUS-S	Phoenix Contact, Interbus Club	1984	DIN 19258 EN 50.254	Products from over 400 manufacturers
DeviceNet	Allen-Bradley	March 1994	ISO 11898 & 11519	17 chip vendors, 300+ product vendors, Open specification
ARCNET	Datapoint	1977	ANSI/ATA 878.1	Chips, boards, ANSI docs
AS-I	AS-I Consortium	Fall 1993	Submitted to IEC	AS-I.I.C. Market item
Foundation Fieldbus H1	Fieldbus Foundation	1995	ISA SP50/IEC 61158	Chips/software/products from multiple vendors
Foundation Fieldbus High Speed Ethernet (HSE)	Fieldbus Foundation	In development - lab test phase, Prelim spec available to members	IEEE 802.3u RFC for IP, TCP & UDP	Multitude of suppliers for Ethernet components, Extremely low cost
IEC/ISA SP50 Fieldbus	ISA & Fieldbus F.	1992 - 1996	IEC 1158/ANSI 850	Multiple chip vendors
Seriplex	APC, Inc.	1990	Seriplex spec	Chips available multiple interfaces

source : Synergetic Micro Systems, Inc.

Récapitulatif sur les bus de terrain

BACKGROUND INFORMATION

Fieldbus Name	Technology Developer	Year Introduced	Governing Standard	Openness
WorldFIP	WorldFIP	1988	IEC 1158-2	Multiple chip vendors
LonWorks	Echelon Corp.	March 1991		Public documentation on protocol
SDS	Honeywell	Jan., 1994	Honeywell Specification, Submitted to IEC, ISO11989	17 chip vendors, 100+ products
ControlNet	Allen-Bradley	1996	ControlNet International	Open Specification, 2 Chip Vendors
CANopen	CAN In Automation	1995	CiA	17 chip vendors, 300 product vendors, Open specification
Ethernet	DEC, Intel, Xerox	1976	IEEE 802.3, DIX v. 2.0	Multitudes of Chips and Products
Modbus Plus	Modicon			Proprietary, requires license/ASICs
Modbus RTU/ASCII	Modicon		EN 1434-3 (layer 7) IEC 870-5 (layer 2)	Open specification, no special hardware required
Remote I/O	Allen-Bradley	1980		Proprietary
Data Highway Plus (DH+)	Allen-Bradley			Proprietary

source : Synergetic Micro Systems, Inc.

ENSEIRB

Les réseaux de terrain



© pk/enseirb/2003 v3.1

- 227 /243 -

Récapitulatif sur les bus de terrain

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Fieldbus Name	Network Topology	Physical Media	Max. Devices (nodes)	Max. Distance
PROFIBUS DP/PA	Line, star & ring	Twisted-pair or fiber	127 nodes (124 slaves - 4 seg, 3 rptrs) + 3 masters	100m between segments @ 12Mbaud; 24 Km (fiber) (baudrate and media dependent)
INTERBUS-S	Segmented with "T" drops	Twisted-pair, fiber, and slip-ring	256 nodes	400 m/segment, 12.8 Km total
DeviceNet	Trunkline/dropline with branching	Twisted-pair for signal & power	64 nodes	500m (baudrate dependent) 6Km w/ repeaters
ARCNET	Star, bus, distributed star	Coax, Twisted-pair, Fiber	255 nodes	Coax 2000 feet; Twisted pair 400 feet; Fiber 6000 Feet
AS-I	Bus, ring, tree star, of al	Two wire cable	31 slaves	100 meters, 300 with repeater
Foundation Fieldbus H1	Star or bus	Twisted-pair, fiber	240/segment, 65,000 segments	1900m @ 31.25K wire
Foundation Fieldbus HSE	Star	Twisted-pair, fiber	IP addressing - essentially unlimited	100m @ 100Mbaud twisted-pair 2000m @ 100Mbaud fiber full duplex
IEC/ISA SP50 Fieldbus	Star or bus	Twisted-pair fiber, and radio	IS 3-7 non IS 128	1700m @ 31.25K 500M @ 5Mbps
Seriplex	Tree, loop, ring, multi-drop, star	4-wire shielded cable	500+ devices	500+ ft

source : Synergetic Micro Systems, Inc.

ENSEIRB

Les réseaux de terrain



© pk/enseirb/2003 v3.1

- 228 /243 -

PHYSICAL CHARACTERISTICS				Récapitulatif sur les bus de terrain
Fieldbus Name	Network Topology	Physical Media	Max. Devices (nodes)	Max. Distance
WorldFIP	Bus	Twisted-pair, fiber	256 nodes	up to 40 Km
LonWorks	Bus, ring, loop, star	Twisted-pair, fiber, power line	32,000/domain	2000m @ 78 kbps
SDS	Trunkline/Dropline	Twisted-pair for signal & power	64 nodes, 126 addresses	500m (baudrate dependent)
ControlNet	Linear, Tree, Star, or Combination Thereof	Coax, fiber	99 nodes	1000m (coax) 2 nodes 250m with 48 nodes 3km fiber; 30km fiber w/ repeaters
CANopen	Trunkline/Dropline	Twisted Pair + optional Signal & Power	127 Nodes	25-1000m (baudrate dependent)
Industrial Ethernet	Bus, Star, Daisy-Chain	Thin Coax, Twisted Pair, Fiber; Thick Coax (rare)	1024 nodes, expandable to more via Routers	Thin: 185m 10 Base T (Twisted Pair): Max 100m long (90 metres horizontal cable, 5m drops, 1m patch) Max 4 hubs/repeaters between nodes 4Km distances w/o routers Fiber: 100 Base FX 400m 2.5 Km multi mode w/o Switches; 50 Km mono mode w/ Switches
Modbus Plus	Linear	Twisted Pair	32 nodes per segment, 64 max	500m per segment
Modbus RTU/ASCII	Line, star, tree Network w/ segments	Twisted Pair	250 nodes per segment	350m
Remote I/O	Linear Trunk	Twinaxial	32 nodes/segment	6 km
DH+	Linear Trunk	Twinaxial	64 nodes/segment	3 km

source : Synergetic Micro Systems, Inc.

ENSEIRB

Les réseaux de terrain



© pk/enseirb/2003 v3.1

- 229 /243 -

TRANSPORT MECHANISM							Récapitulatif sur les bus de terrain
Fieldbus Name	Communication Methods	Transmission Properties	Data Transfer Size	Arbitration Method	Error Checking	Diagnostics	
PROFIBUS DP/PA	Master/slave peer to peer	DP: 9.6, 19.2, 93.75, 187.5, 500 Kbps, 1.5, 3, 6, 12 Mbps PA: 31.25 kbps	0-244 bytes	Token passing	HD4 CRC	Station, module & channel diagnostics	
INTERBUS-S	Master/slave with total frame transfer	500kBits/s, full duplex	1-64 Bytes data 246 Bytes Parameter 512 bytes h.s., unlimited block	None	16-bit CRC	Segment location of CRC error and cable break	
DeviceNet	Master/slave, multi-master, peer to peer	500 kbps, 250 kbps, 125 kbps	8-byte variable message with fragmentation for larger packets	Carrier-Sense Multiple Access w/ Non-Destructive Bitwise Arbitration	CRC check	Bus monitoring	
ARCNET	Peer to peer	19.53K to 10M	0 to 507 bytes	Token passing	16-bit CRC	Built in Acknowledgements at Datalink layer	
AS-I	Master/slave with cyclic polling	Data and power, EMI resistant	31 slaves with 4 in and 4 out	Master/slave with cyclic polling	Manchester Code, hamming-2	Slave fault, device fault	

ENSEIRB

Les réseaux de terrain



© pk/enseirb/2003 v3.1

- 230 /243 -

TRANSPORT MECHANISM						Récapitulatif sur les bus de terrain
Fieldbus Name	Communication Methods	Transmission Properties	Data Transfer Size	Arbitration Method	Error Checking	Diagnostics
Foundation Fieldbus H1	Client/server publisher/subscriber, Event notification	31.25 kbps	128 octets	Scheduler, multiple backup	16-bit CRC	Remote diagnostics, network monitors, parameter status
Foundation Fieldbus HSE	Client/Server, Publisher/Subscriber, Event Notification	100Mbps	Varies, Uses Standard TCP/IP	CSMA/CD	CRC	
IEC/ISA SP50 Fieldbus	Client/server Publisher/subscriber	31.25 kbps IS+1, 2.6, 5 Mbps	64 octets high & 256 low priority	Scheduler, tokens, or master	16-bit CRC	Configurable on network management
Seriplex	Master/slave peer to peer	200 Mbps	7680/transfer	Sonal multiplexing	End of frame & echo check	Cabling problems
WorldFIP	Peer to peer	31.25 kbps, 1 & 2.5 Mbps, 6 Mbps fiber	No limit, variables 128 bytes	Central arbitration	16-bit CRC, data "freshness" indicator	Device message time-out, redundant cabling
LonWorks	Master/slave peer to peer	1.25 Mbs full duplex	228 bytes	Carrier Sense, Multiple Access	16-bit CRC	Database of CRC errors and device errors
SDS	Master/slave, peer to peer, multi-cast, multi-master	1Mbps, 500 kbps, 250 kbps, 125 kbps	8-byte variable message	Carrier-Sense Multiple Access w/ Non-Destructive Bitwise Arbitration	CRC check	Bus monitoring

source : Synergetic Micro Systems, Inc.

ENSEIRB

Les réseaux de terrain



© pk/enseirb/2003 v3.1

- 231 /243 -

TRANSPORT MECHANISM						Récapitulatif sur les bus de terrain
Fieldbus Name	Communication Methods	Transmission Properties	Data Transfer Size	Arbitration Method	Error Checking	Diagnostics
ControlNet	Producer/Consumer, Device Object Model	5 Mbps	0-510 bytes variable	CTDMA Time Slice Multiple Access	Modified CCITT with 16-bit Polynomial	Duplicate Node ID, Device, Slave Faults
CANopen	Master/slave, peer to peer, multi-cast, multi-master	10K, 20K, 50K, 125K, 250K, 500K, 800K, 1Mbps	8-byte variable message	Carrier-Sense Multiple Access w/ Non-Destructive Bitwise Arbitration	15 Bit CRC	Error Control & Emergency Messages
Industrial Ethernet	Peer to Peer	10, 100Mbps	46-1500 Bytes	CSMA/CD	CRC 32	
Modbus Plus	Peer to Peer	1Mbps	variable			
Modbus RTU/ASCII	Master/Slave	300 bps - 38.4Kbps	0-254 Bytes			
Remote I/O	Master/Slave	57.6 - 230 kbps	128 Bytes		CRC 16	none
DH+	Multi-Master, Peer<Peer	57.6 kbps	180 Bytes			none

source : Synergetic Micro Systems, Inc.

ENSEIRB

Les réseaux de terrain



© pk/enseirb/2003 v3.1

- 232 /243 -

PERFORMANCE			
Fieldbus Name	Cycle Time: 256 Discrete 16 nodes with 16 I/Os	Cycle Time: 128 Analog 16 nodes with 8 I/Os	Block transfer of 128 bytes 1 node
PROFIBUS DP/PA	Configuration dependent typ <2ms	Configuration dependent typ <2ms	not available
INTERBUS-S	1.8 ms	7.4 ms	140 ms
DeviceNet	2.0 ms Master-slave polling	10 ms Master-slave polling	4.2 ms
ARCNET	Application Layer Dependent	Application Layer Dependent	Application Layer Dependent
AS-I	4.7 ms	not possible	not possible
Foundation Fieldbus H1	<100 ms typical	<600 ms typical	36 ms @ 31.25k
Foundation Fieldbus HSE	Not Applicable; Latency <5ms	Not Applicable; Latency <5ms	<1ms
IEC/ISA SP50	Configuration dependent	Configuration dependent	0.2 ms @ 5 Mbps 1.0 ms @ 1 Mbps
Seriplex	1.32 ms @ 200 kbps, m/s	10.4 ms	10.4 ms
WorldFIP	2 ms @ 1 Mbps	5 ms @ 1 Mbps	5 ms @ 1 Mbps
LonWorks	20 ms	5 ms @ 1 Mbps	5 ms @ 1 Mbps

source : Synergetic Micro Systems, Inc.

PERFORMANCE			
Fieldbus Name	Cycle Time: 256 Discrete 16 nodes with 16 I/Os	Cycle Time: 128 Analog 16 nodes with 8 I/Os	Block transfer of 128 bytes 1 node
SDS	<1 ms, event driven	5 ms polling @ 1 Mbps	2 ms @ 1 Mbps
CAN *	Not available	Not available	Not available
ControlNet	<0.5 ms	<0.5 ms	<0.5 ms
CANopen	<1 ms	5 ms polling @ 1 Mbps	<2.5 ms
Industrial Ethernet	Application Layer Dependent	Application Layer Dependent	Application Layer Dependent
Modbus Plus			
Modbus RTU/ASCII			
Remote I/O	12msec @230, 40 msec @57.6 bus cycle time		
DH+			

* : 0.1 ms, 4 bytes @ 1Mbps (source CERN)

source : Synergetic Micro Systems, Inc.

Avant de faire un choix qui engage l'entreprise, il faut impérativement se poser un ensemble de questions (recommandations du CERN)

QUESTIONS GENERALES :

- ✓ Est-ce que le bus de terrain est un standard de fait ou un standard international ?
- ✓ Est-ce un système ouvert ou une solution propriétaire ?
- ✓ Les spécifications techniques sont-elles publiées par un organisme indépendant ?
- ✓ A-t-on des royalties ou des licences à payer ?
- ✓ Existe-t-il un « user group » ?
- ✓ A-t-on une interopérabilité totale ?

QUESTIONS SUR LE BUS DE TERRAIN :

- ✓ Topologie du réseau ?
- ✓ Type du médium ?
- ✓ Longueur maximale ?
- ✓ Nombre maximum de nœuds ?
- ✓ Technique d'adressage ?
- ✓ Protocoles mis en œuvre ?
- ✓ Temps de réponse maximum ?
- ✓ Débit en terme de bits/s ou de messages/s suivant la configuration ?
- ✓ Possibilité d'émission de messages ?
- ✓ Possibilité de multimaître ?
- ✓ Possibilité de diffusion (« broadcasting ») ?
- ✓ Réessai sur erreur

QUESTIONS SUR LE BUS DE TERRAIN (suite) :

- ✓ Estimation de la charge de travail pour configurer le réseau ?
- ✓ Estimation de la charge de travail ajouter/enlever un nœud ?
- ✓ Influence induite par l'ajout ou le retrait d'un nœud ?
- ✓ Y-a-t-il une redondance du médium ?
- ✓ Peut-on utiliser des répéteurs ?

QUESTIONS SUR LE MATERIEL :

- ✓ Immunité au bruit ?
- ✓ Durcissement aux rayonnements ?
- ✓ Circuits disponibles auprès de différents fabricants ?
- ✓ Mémoire embarquée sur le circuit ?

QUESTIONS SUR LE MATERIEL (suite) :

- ✓ Fonctionnalités diverses disponibles comme sur un microcontrôleur ?
- ✓ Existence de modules du commerce prêts à l'emploi ?
- ✓ Téléalimentation ou non ?

QUESTIONS SUR L'ENVIRONNEMENT DE DEVELOPPEMENT :

- ✓ Bus d'interface possibles (VME, PC...) ?
- ✓ Logiciels disponibles pour PC : Windows 95, NT ou Linux ?
- ✓ Logiciels disponibles pour VME : VxWorks, OS9, LynxOS ?
- ✓ Outils de supervision disponibles (configuration, diagnostics...)?
- ✓ Interface de programmation disponible (API) ?
- ✓ Existe-t-il des testeurs ou analyseurs de protocole pour PC ou autre ?

❑ QUESTIONS SUR LES COÛTS :

- ✓ Coûts des circuits d'interface ou microcontrôleur ?
- ✓ Coûts des modules du commerce ?
- ✓ Coûts des kits de développement et des licences ?



REFERENCES

- ♦ *Réseaux de terrain*. Description et critères de choix. CIAME. Editions Dunod. 1999.
- ♦ *Le bus CAN*. D. Paret. Editions Dunod. 1998.
- ♦ *Le bus CAN. Applications*. D. Paret. Editions Dunod. 1999.
- ♦ *Revue mensuelle Mesures*. Divers articles.

- ♦ <http://www.enseirb.fr/~kadionik/formation/fieldbus/introduction.html>
- ♦ <http://www.enseirb.fr/~kadionik/telecom/telecom.html>
- ♦ <http://www.can-cia.de/>
- ♦ <http://www.worldfip.org/>
- ♦ <http://www.profibus.com/>
- ♦ <http://www.fieldbus.org/>
- ♦ <http://www.lonworks.echelon.com/>
- ♦ <http://www.LonMark.org/>
- ♦ <http://www.controlnet.org/>
- ♦ <http://www.industrialethernet.com/>
- ♦ <http://ethernet.industrial-networking.com/>
- ♦ <http://www.ida-group.org/>