

# LES RESEAUX DE TERRAIN

Patrice KADIONIK

email : [kadionik@enseirb.fr](mailto:kadionik@enseirb.fr)  
http : <http://www.enseirb.fr/~kadionik>



---

---

---

---

---

---

---

---

# SOMMAIRE



---

---

---

---

---

---

---

---

## 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 et/ou enregistrés par leur propriétaire respectif



---

---

---

---

---

---

---

---

Sommaire

PARTIE II : ILLUSTRATION

1. SOLUTION CAN
2. 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 Les objectifs de la formation

DEFINITION DU CONCEPT «BUS DE TERRAIN» POUR ACQUERIR LES BASES NECESSAIRES PERMETTANT DE FAIRE SON CHOIX EN FONCTION DE SON PROPRE BESOIN  
 ILLUSTRATION PAR L'EXEMPLE

ENSEIRB *Les réseaux de terrain* ENGER

© pkenseir92003 v3.1 - 7 /156-

---

---

---

---

---

---

---

---

2. QU'EST CE QU'UN BUS DE TERRAIN ?

ENSEIRB *Les réseaux de terrain* ENGER

© pkenseir92003 v3.1 - 8 /156-

---

---

---

---

---

---

---

---

Définitions

- 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...)

ENSEIRB *Les réseaux de terrain* ENGER

© pkenseir92003 v3.1 - 9 /156-

---

---

---

---

---

---

---

---

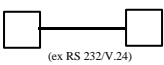
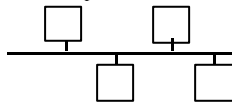
Conséquences

TOPOLOGIE DIFFERENTE

- ☞ participants multiples


LAISON DIFFERENTE

- ☞ Liaison point à point → Liaison multipoint

COMMUNICATIONS DIFFERENTES

- ☞ Communications Maître/Esclave → Communications multimaitre
- ☞ Potentialité de conflits d'accès

ENSEIRB Les réseaux de terrain 

© pkenseir92003 v3.1 - 10/156 -

---

---

---

---

---

---


---

---

Définition plus précise

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

ENSEIRB Les réseaux de terrain 

© pkenseir92003 v3.1 - 11/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---


But

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 ?)

ENSEIRB Les réseaux de terrain 

© pkenseir92003 v3.1 - 12/156 -

---

---

---

---

---


---

---

---

Conséquences immédiates

- 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

ENSEIRB *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 13/156 -

---

---

---

---


---

---

---

---

### 3. AVANTAGES ET INCONVENIENTS

ENSEIRB *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 14/156 -

---

---

---

---

---


---

---

---

Avantages

- 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

ENSEIRB *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 15/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

☐ 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

---

---

---

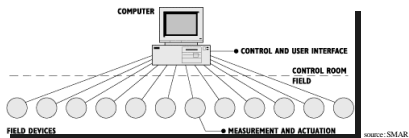
---

---

---

---

---



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

---

---

---

---

---

---

---

---

Avantages

source: SMAR

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

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* **ENERG**

© pkenseir92003 v3.1 - 19/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

Avantages

source: SMAR

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

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* **ENERG**

© pkenseir92003 v3.1 - 20/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

Avantages

source: SMAR

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

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* **ENERG**

© pkenseir92003 v3.1 - 21/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

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

ENSEIRB Les réseaux de terrain

© pkenseir92003 v3.1 - 22/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Inconvénients

- 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

ENSEIRB Les réseaux de terrain

© pkenseir92003 v3.1 - 23/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

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

ENSEIRB Les réseaux de terrain

© pkenseir92003 v3.1 - 24/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



- 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

---

---

---

---

---

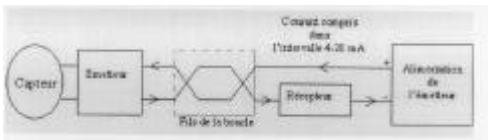
---

---

---

---

---



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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Boucle de courant 4-20 mA

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

**ENSEIRB** Les réseaux de terrain **EVERO**

© pkenseir92003 v3.1 - 31/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

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

**ENSEIRB** Les réseaux de terrain **EVERO**

© pkenseir92003 v3.1 - 32/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

Boucle de courant 4-20 mA

### 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

**ENSEIRB** Les réseaux de terrain **EVERO**

© pkenseir92003 v3.1 - 33/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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



---

---

---

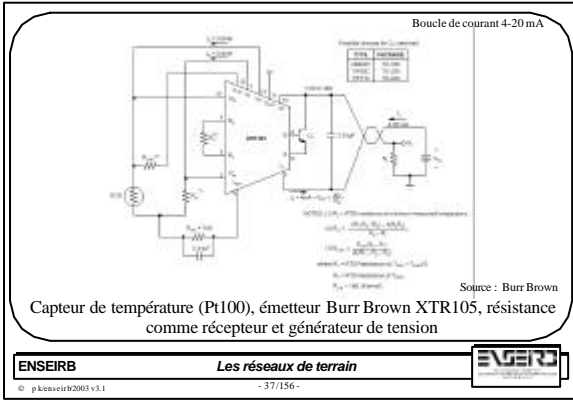
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

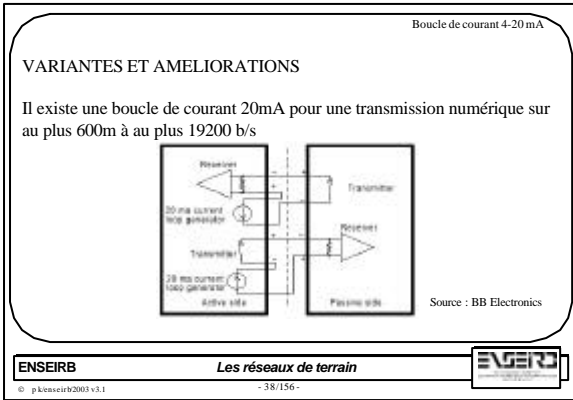
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

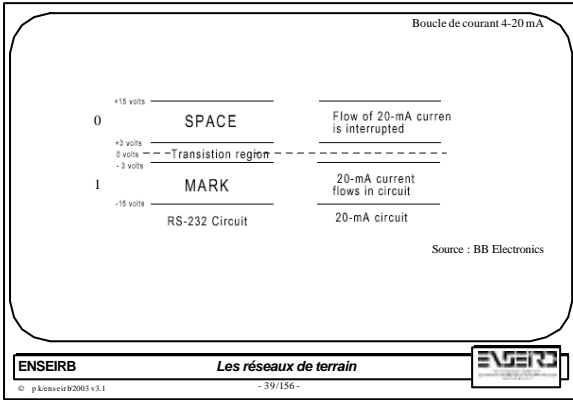
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

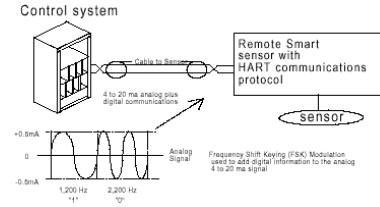
---

---

---

Il est possible de faire en plus une transmission numérique sur une boucle de courant 4-20 mA (par modulation FSK) :

• Protocole HART (Highway Addressable Remote Transducer)



Source : BB Electronics

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- 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...

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

Historique

- ❑ **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)

ENSEIRB *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 43/156 -

---

---

---

---

---


---

---

---

Constat

- ❑ 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)...

ENSEIRB *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 44/156 -

---

---

---

---

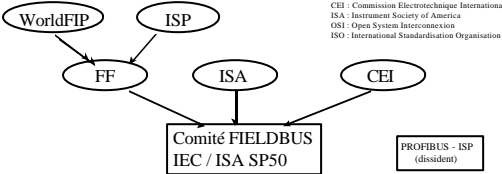
---

---

---

---


Normalisation



CEI - Commission Electrotechnique International  
ISA - Instrument Society of America  
OSI - Open System Interconnection  
ISO - International Standardisation Organisation

**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

ENSEIRB *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 45/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

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 Multimaitre
  - ☞ 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




---

---

---

---

---

---

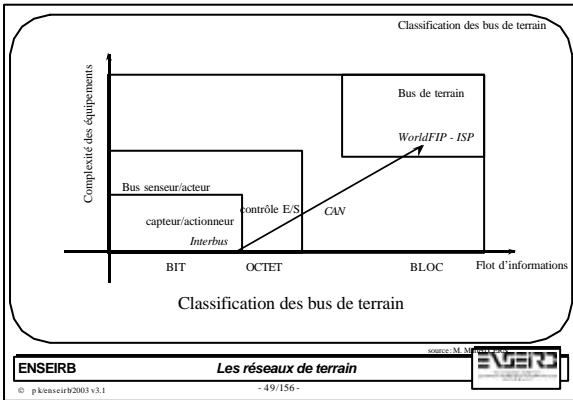
---

---

---

---






---

---

---

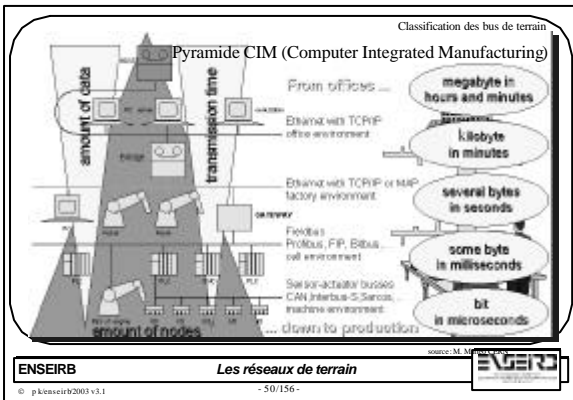
---

---

---

---

---




---

---

---

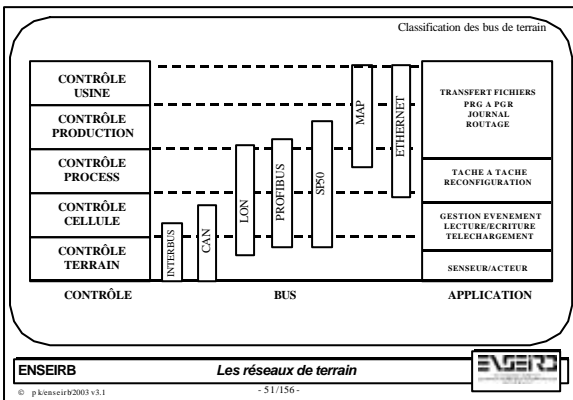
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---


---

---

---

Classification des bus de terrain

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

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 52/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---


---

---

Classification des bus de terrain

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)

**BUS ET NORMES : (2001)**

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 53/156 -

---

---

---

---

---

---


---

---

---

---

**6. LE DECOLLAGE DU BUS DE TERRAIN**

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 54/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

☐ 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	INDUSTRIEL AUJOURD'HUI MARCHÉ TENDU		INDUSTRIEL AUJOURD'HUI MARCHÉ PRÉVU EN 2001	
	Proportion	Intervention	Proportion	Intervention
Profibus	10%	20%	12%	25%
Motion	12%	15%	15%	20%
CAN	12%	18%	12%	18%
Interbus	12%	10%	12%	10%
Modbus	12%	12%	12%	12%
RS-485	12%	12%	12%	12%
RS-232	12%	12%	12%	12%
Modbus RTU	12%	12%	12%	12%
LonWorks	12%	12%	12%	12%
DeviceNet	12%	12%	12%	12%
WorldFIP	12%	12%	12%	12%
Autres	12%	12%	12%	12%

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

source : Control Engineering 1999




---

---

---

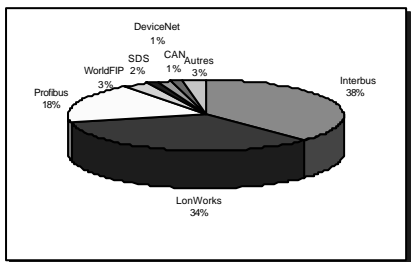
---

---

---

---

---



source : enquête club Interbus 1997




---

---

---

---


---

---

---

---

Les différentes parts de marché bus de terrain



Intertek-2  
AM

**ETUDE DES BUS DE TERRAIN**

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

OUI

52 %

NON

48 %

371 personnes ont répondu à cette question

source : Mesures No 695 - Mai 1997

© pkenseirb2003 v3.1

**ENSEIRB**      **Les réseaux de terrain**

ENERG

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Les différentes parts de marché bus de terrain

**CONCEPTION D'IMPLICATIONS À NIVEAU DE BUS DE TERRAIN**

Question posée : Vous envisagez de développer des applications à base de bus de terrain. Sur quelle solution allez-vous vous appuyer ?

	OUI	NON	NE SAIT PAS
Vous allez passer la base par-dessus une couche d'application	61 %	31 %	8 %
Vous passerez la base sur plateforme de communication de données	87 %	10 %	3 %
Vous passerez la base sur bus de terrain	88 %	9 %	3 %
Vous passerez la base sur serveur	86 %	10 %	4 %

**AVENIR DES BUS DE TERRAIN**

Question posée : Parmi les bus de terrain et de réseaux, lesquelles ont le plus de succès, lesquelles vous intéressent le plus à l'avenir ?

	Intertek-2	AM	Intertek-1	AM	Intertek-2	AM	Intertek-1	AM
ITC	40%	44%	27%	27%	13%	20%	25%	25%
Perflex	38%	54%	22%	17%	13%	13%	17%	17%
CAH	48%	21%	38%	23%	29%	18%	14%	12%
InterData	44%	24%	29%	16%	17%	13%	16%	16%
ITC	7%	1%	20%	16%	18%	17%	16%	16%
AMT	4%	20%	20%	18%	14%	14%	16%	16%
Intertek-1	18%	19%	17%	16%	11%	11%	16%	16%
Log-Server	10%	13%	12%	11%	14%	14%	16%	16%
InterData	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%

source : Mesures No 695 - Mai 1997

© pkenseirb2003 v3.1

**ENSEIRB**      **Les réseaux de terrain**

ENERG

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Les professionnels intéressés par le bus de terrain

**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

© pkenseirb2003 v3.1

**ENSEIRB**      **Les réseaux de terrain**

ENERG

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

- 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




---

---

---

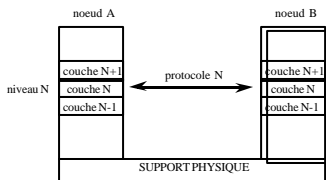
---

---

---

---

---



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




---

---

---

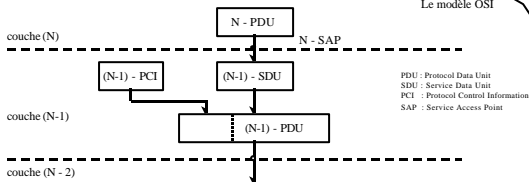
---

---

---

---

---



PDU : Protocol Data Unit  
 SDU : Service Data Unit  
 PCI : Protocol Control Information  
 SAP : Service Access Point

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




---

---

---

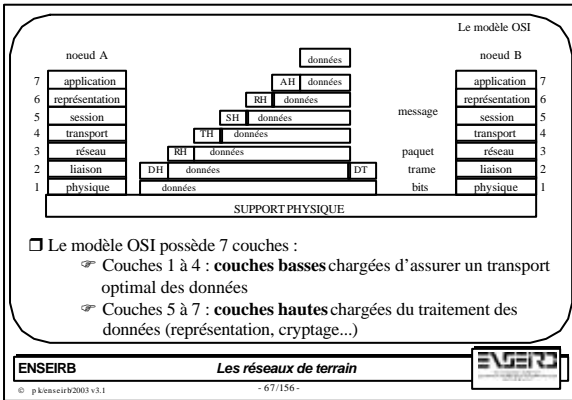
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

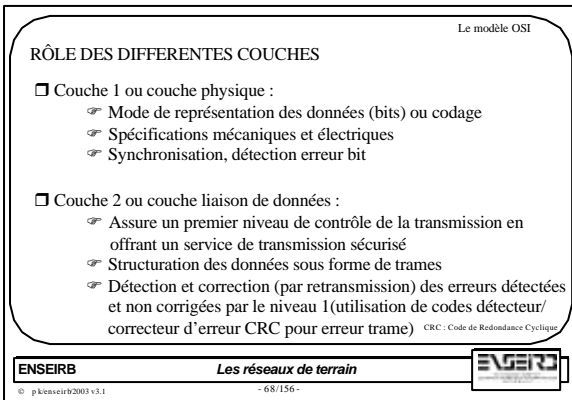
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

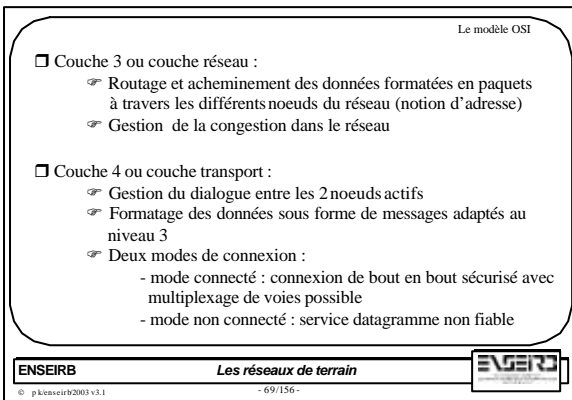
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- 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




---

---

---

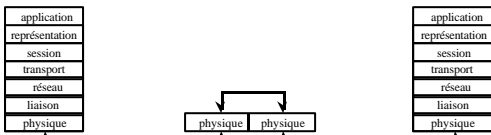
---

---

---

---

---



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




---

---

---

---

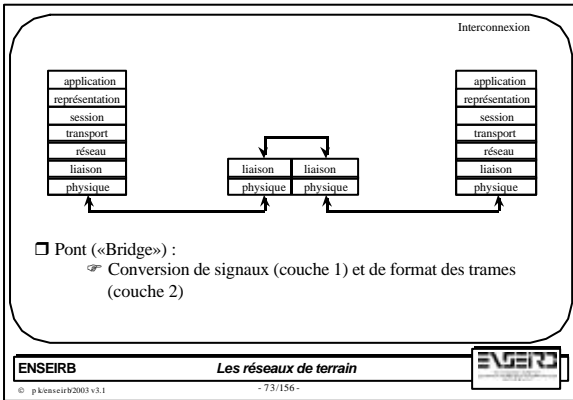
---

---

---

---






---

---

---

---

---

---

---

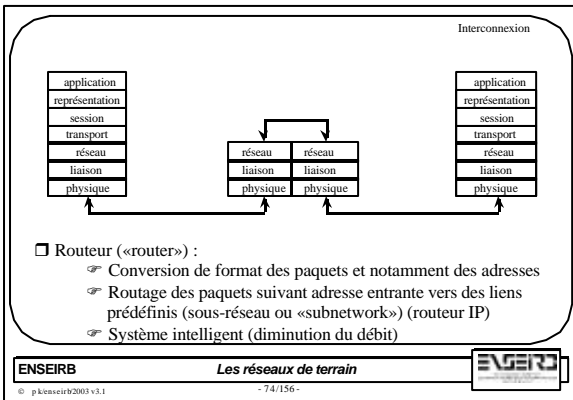
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

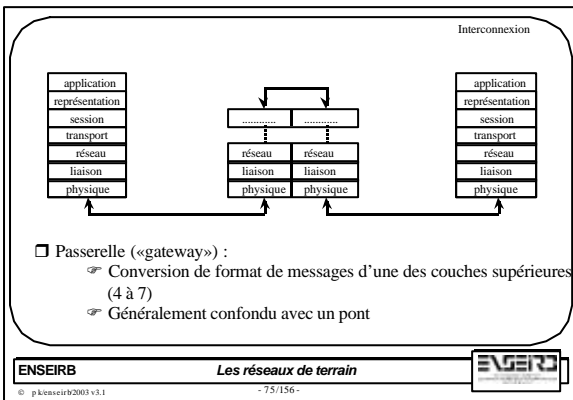
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Critères de classification

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»)

---

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* **ENERG**

© pkenseir92003 v3.1 - 76/156 -

---

---

---

---

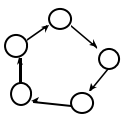
---

---

---

---

Critères de classification



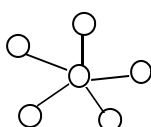
☞ Communication unidirectionnelle

☞ Régénération à chaque noeud

☞ Extension impossible en fonctionnement

☞ Problème si un noeud en panne

**TOPOLOGIE EN ANNEAU**



☞ Noeud central

☞ Ajout d'un noeud possible en fonctionnement

☞ plus de câble

**TOPOLOGIE EN ETOILE**

---

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* **ENERG**

© pkenseir92003 v3.1 - 77/156 -

---

---

---

---

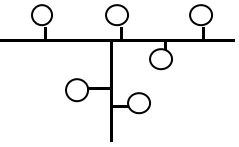
---

---

---

---

Critères de classification

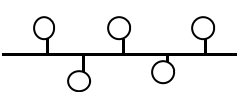


☞ Compromis entre les 2 topologies précédentes

☞ Défaillance d'un noeud possible

☞ Extension aisée

**TOPOLOGIE EN ARBRE**



☞ Pas de branches

**TOPOLOGIE EN BUS**

**Topologie des bus de terrain**

---

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* **ENERG**

© pkenseir92003 v3.1 - 78/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

Importance fondamentale de la couche liaison de données

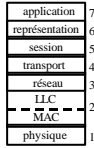
 Division en 2 sous-couches :

 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




---

---

---

---

---

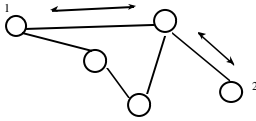
---

---

---

---

---


 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

---

---

---

---

---

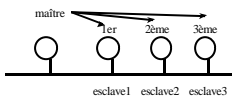
---

---

---

---

---



(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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Méthodes d'accès au médium

maître esclave1 esclave2 esclave3

Sync maître Escl 1 Escl 2 Escl 3 Sync

temps →

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
- ☞ Meilleur efficacité que le polling

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* **ENERG**

© pkenseir92003 v3.1 - 82/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

Méthodes d'accès au médium

(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

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* **ENERG**

© pkenseir92003 v3.1 - 83/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

Méthodes d'accès au médium

(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

$$time\_bit > 2 t\_prop\_bus = 2 l\_bus/v$$

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* **ENERG**

© pkenseir92003 v3.1 - 84/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

Méthodes d'accès au médium

Principe de l'arbitrage par dominance bit

ENSEIRB Les réseaux de terrain

© pkenseir92003 v3.1 - 85/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Méthodes d'accès au médium

(ex : bus Ethernet)

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)

ENSEIRB Les réseaux de terrain

© pkenseir92003 v3.1 - 86/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Méthodes d'accès au médium

(ex : réseau LON)

LON : Local Operating Network

Accès CSMA/CA («Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance») :

- ☞ Les nœuds 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

ENSEIRB Les réseaux de terrain

© pkenseir92003 v3.1 - 87/156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Méthodes d'accès au médium

RECAPITULATIF :

	Efficacité trafic faible	Efficacité trafic élevé	Déterminisme	Priorité	Robustesse	Flexibilité couche physique	Coût par noeud
mode connecté	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹
polling	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹
TDMA	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹
TokenRing	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹
TokenBus	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹
Prédominance bit	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹
CSMA/CD	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹
CSMA/CA	☹	☹	☹	☹	☹	☹	☹

☺ : bon  
☹ : mauvais  
✔ : OK

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

ENSEIRB **Les réseaux de terrain** 

© pkenseir92003 v3.1 - 88/156 -

Le bus de terrain et le modèle OSI

- 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

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

ENSEIRB **Les réseaux de terrain** 

© pkenseir92003 v3.1 - 89/156 -

Le bus de terrain et le modèle OSI

application	7
	6
	5
	4
	3
LLC	2
MAC	2
physique	1

standard de fait

utilisateur	
application	7
	6
	5
	4
	3
LLC	2
MAC	2
physique	1

standard ISA/SP50

Couches 3 à 6 vides :

- ☞ Pas de besoin d'interconnexion avec un autre réseau
- ☞ Gain en performance

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

ENSEIRB **Les réseaux de terrain** 

© pkenseir92003 v3.1 - 90/156 -

- 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 150Ω
  - ☞ 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




---

---

---

---

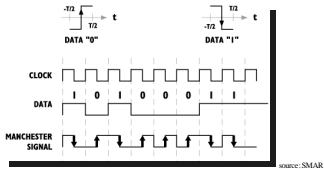
---

---

---

---

- ☐ 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




---

---

---

---

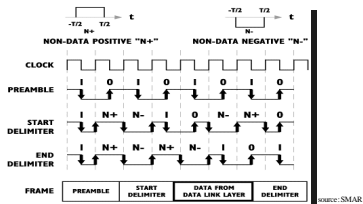
---

---

---

---

- ☐ 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  
- ILLUSTRATION -




---

---

---

---

---

---

---

---

## SOLUTION 1 : CAN

---

---

---

---

---

---

---

---

### Le bus de terrain CAN

- ❑ CAN : Acronyme de «Control Area Network»
- ❑ CAN est un standard de fait développé par Robert Bosch 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)

---

---

---

---

---

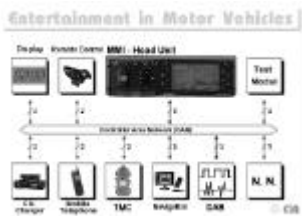
---

---

---

### Le bus de terrain CAN

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



---

---

---

---

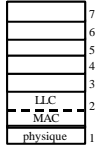
---

---

---

---

CAN est à ranger dans la catégorie des bus de terrain



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




---

---

---

---

---

---

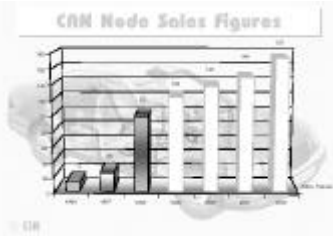
---

---

---

---

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




---

---

---

---

---

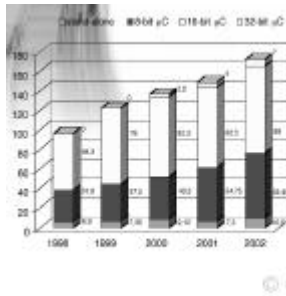
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

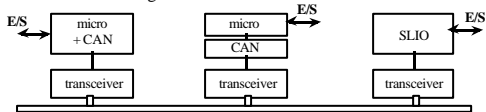
---

---

---

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»




---

---

---

---

---

---

---

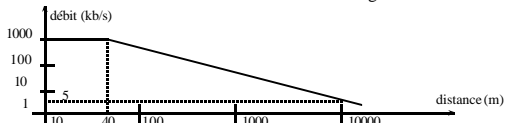
---

---

---

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




---

---

---

---

---

---

---

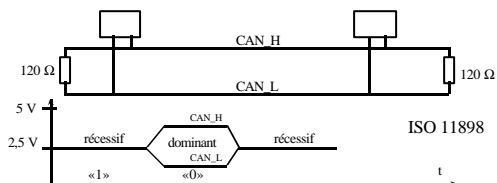
---

---

---

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)




---

---

---

---

---

---

---

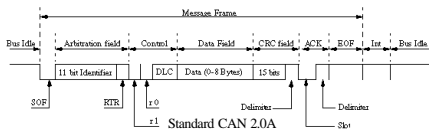
---

---

---

☐ Couche liaison :

- ☞ 2 standards de trames définie :
  - ✓ «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

---

---

---

---

---

---

---

---

Le bus de terrain CAN


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

---

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 115 /156-

---

---

---

---

---

---


---

---

**INDUSTRIAL**  
**ETHERNET**

SOLUTION 2 : ETHERNET

---

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 116 /156-

---

---

---

---

---

---

---

---

Ethernet comme bus de terrain ?


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

---

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 117 /156-

---

---

---

---

---

---


---

---

Ethernet comme bus de terrain ?

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

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 118 /156-

---

---

---

---

---

---


---

---

Ethernet comme bus de terrain ?

Ethernet comme bus de terrain ?

- ☹ 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

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 119 /156-

---

---

---

---

---

---

---


---

Ethernet comme bus de terrain ?

Ethernet comme bus de terrain ?

**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 »

**ENSEIRB** *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 120 /156-

---

---

---

---

---

---

---

---



Ethernet comme bus de terrain ?

INITIATIVE EtherNet/IP

# EtherNet/IP

- Acronyme de EtherNet/Industrial Protocol
- Encapsulation de messages deviceNet ou ControlNet dans un paquet TCP ou UDP

ENSEIRB

*Les réseaux de terrain*

**ENERG**

© pkenseir92003 v3.1 - 121 /156-

---

---

---

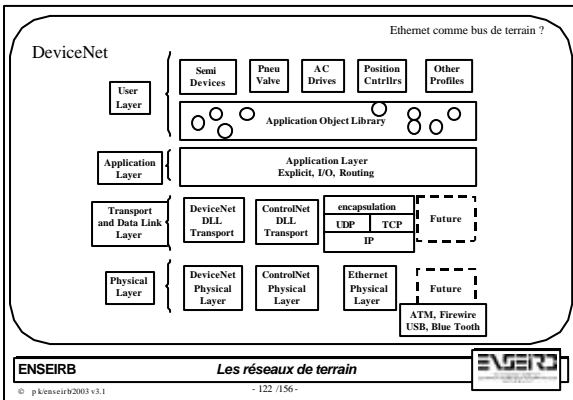
---

---

---

---

---




---

---

---

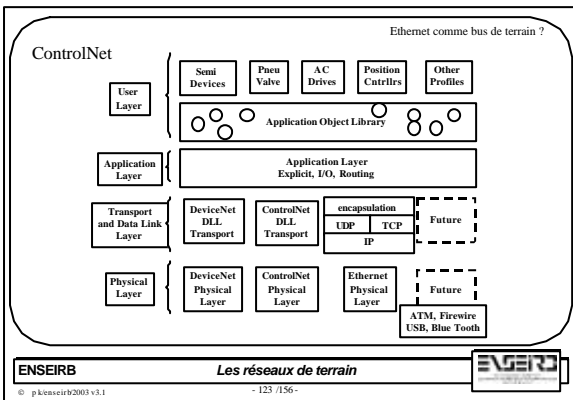
---

---

---

---

---




---

---

---

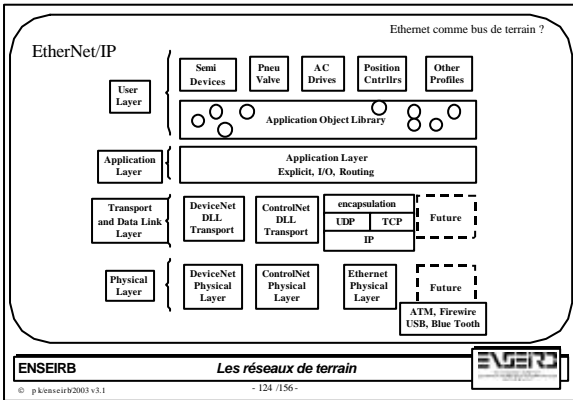
---

---

---

---

---




---

---

---

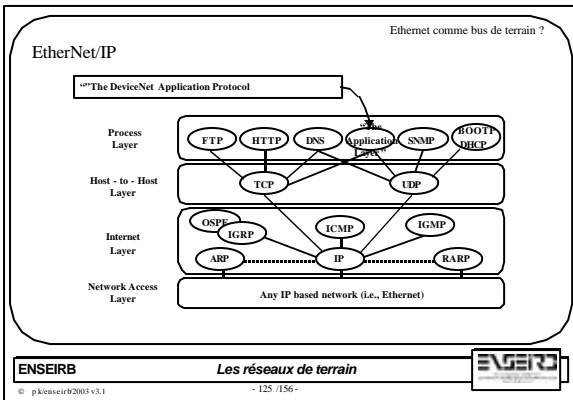
---

---

---

---

---




---

---

---

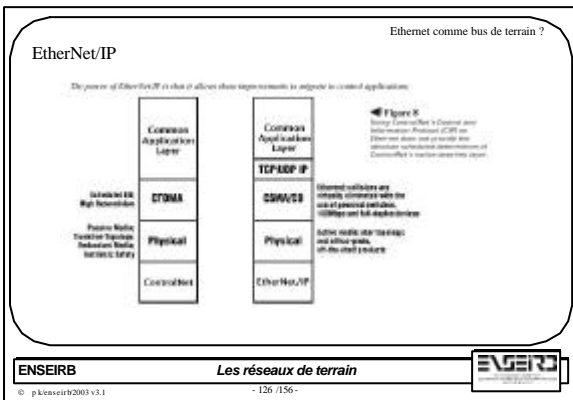
---

---

---

---

---




---

---

---

---


---

---


---

---

Ethernet comme bus de terrain ?

INITIATIVE HSE 

- 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...)

ENSEIRB *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 127 /156-

---

---

---

---

---

---


---

---

Ethernet comme bus de terrain ?

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

ENSEIRB *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 128 /156-

---

---

---

---


---

---

---

---

CONNECTIVITE INTERNET

ENSEIRB *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 129 /156-

---

---

---

---

---

---

---

---

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)




---

---

---

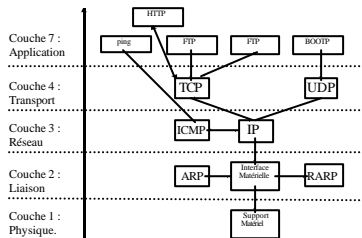
---

---

---

---

---



Protocoles Internet et modèle OSI




---

---

---

---

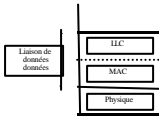
---

---

---

---

- 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 !

---

---

---

---

---

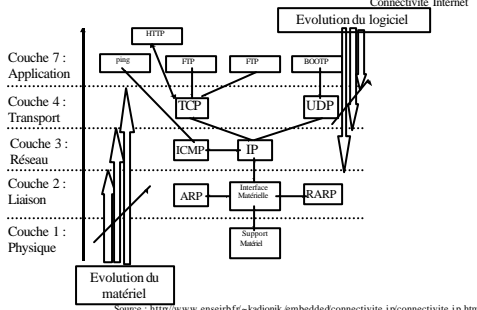
---

---

---

---

---



Source : [http://www.enseirb.fr/~kadiouk/embedded/connectivite\\_ip/connectivite\\_ip.html](http://www.enseirb.fr/~kadiouk/embedded/connectivite_ip/connectivite_ip.html)

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

Connectivité Internet

FF et Internet

ENSEIRB *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 136 /156-

---

---

---

---

---


---

---

---

Connectivité 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

ENSEIRB *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 137 /156-

---

---

---

---

---

---

---

---

CONCLUSION  
PERSPECTIVES

ENSEIRB *Les réseaux de terrain* 

© pkenseir92003 v3.1 - 138 /156-

---

---

---

---

---

---

---

---







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	11.25 kbps	328 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	11.25 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	100 Mbps	7000/transfer	Serial multiplexing	End of frame & echo check	Cabling problems
WorldFIP	Peer to peer	11.25 kbps, 1 & 2.5Mbps, 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	4Mbps, 200 kbps, 250 kbps, 25 kbps	8-byte variable message	Carrier-Sense Multiple Access w/ Non-Destructive Bitwise Arbitration	CRC check	Bus monitoring

source: Synergistic Micro Systems, Inc.

**ENSEIRB** **Les réseaux de terrain** **ENERG**

© p.kenseir@2003 v3.1 - 145 /156-

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

TRANSPORT MECHANISM				Récapitulatif sur les bus de terrain		
Fieldbus Name	Communication Methods	Transmission Properties	Data Transfer Size	Arbitration Method	ErrorChecking	Diagnostics
ControlNet	Producer/Consumer, Device Object Model	5Mbps	0-510 bytes variable	TDMA 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	90K, 20K, 20K, 125K, 250K, 500K, 500K, 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	800bps - 38.4kbps	0-254 Bytes			
Remote IO	Master/Slave	37.6 - 230 kbps	128 Bytes		CRC 16	none
DH+	Multi-Master, Peer-Peer	37.6kbps	180 Bytes			none

source: Synergistic Micro Systems, Inc.

**ENSEIRB** **Les réseaux de terrain** **ENERG**

© p.kenseir@2003 v3.1 - 146 /156-

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

PERFORMANCE				Récapitulatif sur les bus de terrain	
Fieldbus Name	Cycle Time: 256 Decrets	Cycle Time: 128 Analog	Cycle Time: 128 Analog	Block transfer of 128 bytes	Block transfer of 128 bytes
PROFIBUS DP/PA	Configuration dependent typ <2ms	Configuration dependent typ <2ms	Configuration dependent typ <2ms		not available
INTERBUS-S	2.8 ms	7.4 ms	7.4 ms	0.40 ms	
DeviceNet	2.0 ms Master-slave polling	0.9 ms Master-slave polling	0.9 ms Master-slave polling	2.1 ms	
CRCNET	Application Layer Dependent	Application Layer Dependent	Application Layer Dependent	Application Layer Dependent	Application Layer Dependent
AS-I	4.7 ms	not possible	not possible		not possible
Foundation Fieldbus H1	~100ms typical	~600ms typical	~600ms typical	36 ms @ 31.25k	
Foundation Fieldbus HSE	Not Applicable; Latency <5ms	Not Applicable; Latency <5ms	Not Applicable; Latency <5ms	3ms	
IEC/ISA SP50	Configuration dependent	Configuration dependent	Configuration dependent	0.2 ms @ 5 Mbps 0.9 ms @ 1 Mbps	
Seriplex	~32 ms @ 200 kbps, n/s	10.4 ms	10.4 ms	0.4 ms	
WorldFIP	2 ms @ 1 Mbps	5 ms @ 1 Mbps	5 ms @ 1 Mbps	5 ms @ 1 Mbps	
LonWorks	10 ms	5 ms @ 1 Mbps	5 ms @ 1 Mbps	5 ms @ 1 Mbps	

source: Synergistic Micro Systems, Inc.

**ENSEIRB** **Les réseaux de terrain** **ENERG**

© p.kenseir@2003 v3.1 - 147 /156-

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**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	51 ms, event driven	8 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	51 ms	8 ms polling @ 1 Mbps	<2.5 ms
Industrial Ethernet	Application Layer Dependent	Application Layer Dependent	Application Layer Dependent
Modbus Plus			
Modbus RTU/ASCII			
Remote IO	2mscc @ 230, 40 msec @ 57.6 bus cycle time		
DH+			

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

source : Sivergent 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

ENSEIRB

Les réseaux de terrain



© pkenseir92003 v3.1

- 154 /156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

- 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.

ENSEIRB

Les réseaux de terrain



© pkenseir92003 v3.1

- 155 /156 -

---

---

---

---

---

---

---

---

- <http://www.enseirb.fr/~kasionik/formation/fieldbus/introduction.html>
- <http://www.enseirb.fr/~kasionik/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/>

ENSEIRB

Les réseaux de terrain



© pkenseir92003 v3.1

- 156 /156 -

---

---

---

---

---

---

---

---