

# UE923: Connectivité et Traitement de données

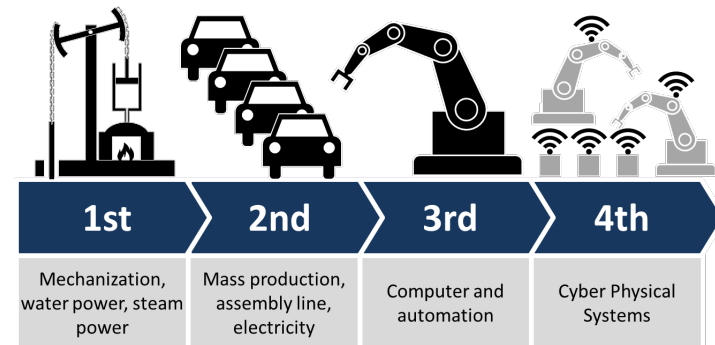
Master 2 ISC Robotique Industrielle

Lamri NEHAOUA

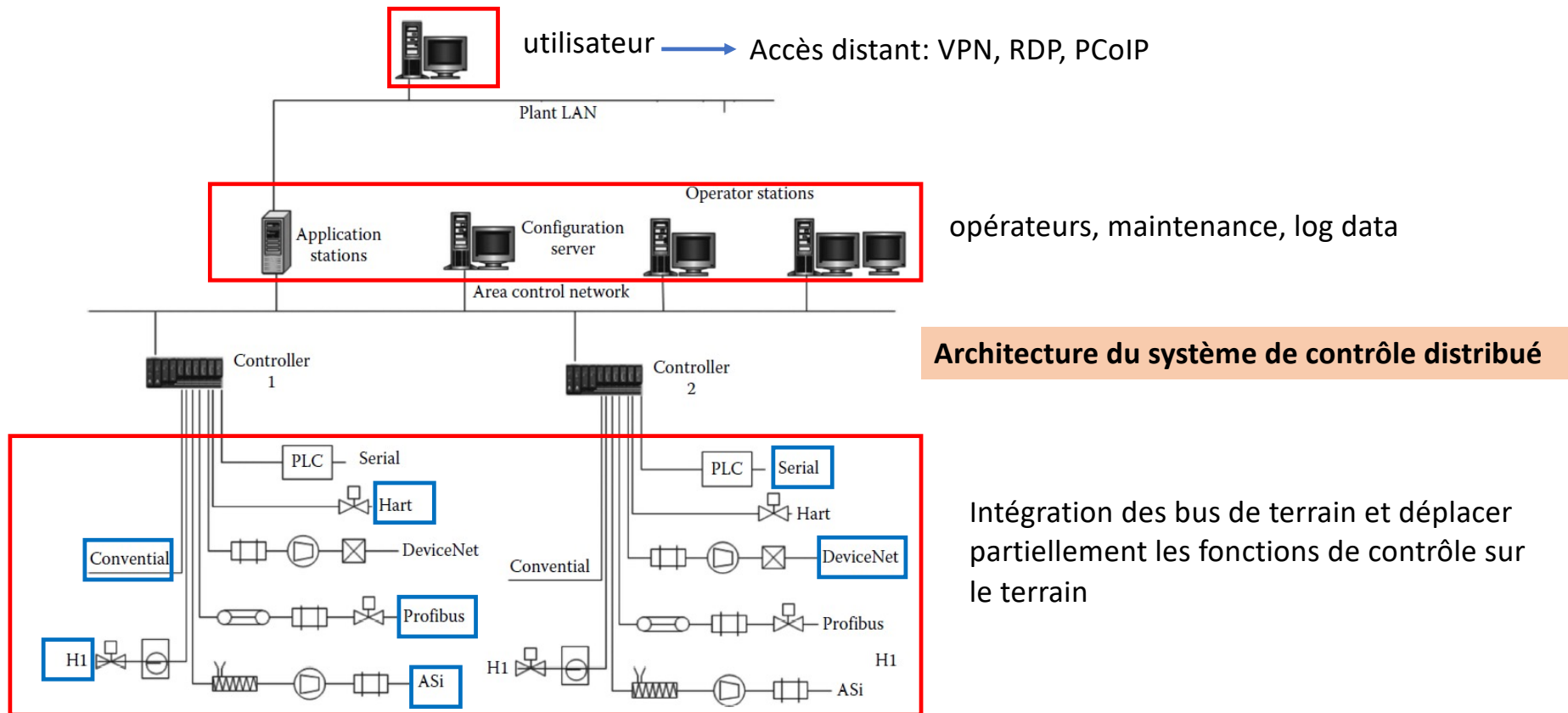
[lamri.nehaoua@univ-evry.fr](mailto:lamri.nehaoua@univ-evry.fr), AX~~127~~

# INS - Introduction

- Intégration dans les systèmes de contrôle de processus
  - Electronique,
  - Numération et processeurs,
  - Technologies de communication,
  - Bus de terrain.
- Besoin de connectivité
  - Interactions homme-machine,
  - Proposer des concepts industriels innovants,
  - Décentralisation des chaînes de production,
  - Systèmes de contrôle distribués.



# INS - Introduction



**Architecture du système de contrôle distribué**

Intégration des bus de terrain et déplacer partiellement les fonctions de contrôle sur le terrain

# INS - Introduction



IIoT: secteur en croissance prometteur

WSN: capteur + processeur + interface

Tag RFID

## Potentiel de l'IIoT:

- contrôle qualité,
- maintenance prédictive,
- surveillance en RT,
- sécurité améliorée,
- meilleure fiabilité,
- suivi efficace des installations,
- cycle de vie des produits,
- conception accélérée,
- consommation réduite d'énergie.

## Défis de l'IIoT:

- complexité opérationnelle,
- défis de connectivité,
- disponibilité des services,
- sécurité des données,
- diversité des objets connectés,
- manque d'interopérabilité,
- coût de l'infrastructure,
- Big data,
- bande passante Internet.

# INS - Tendances de marché



Magazine Forbes

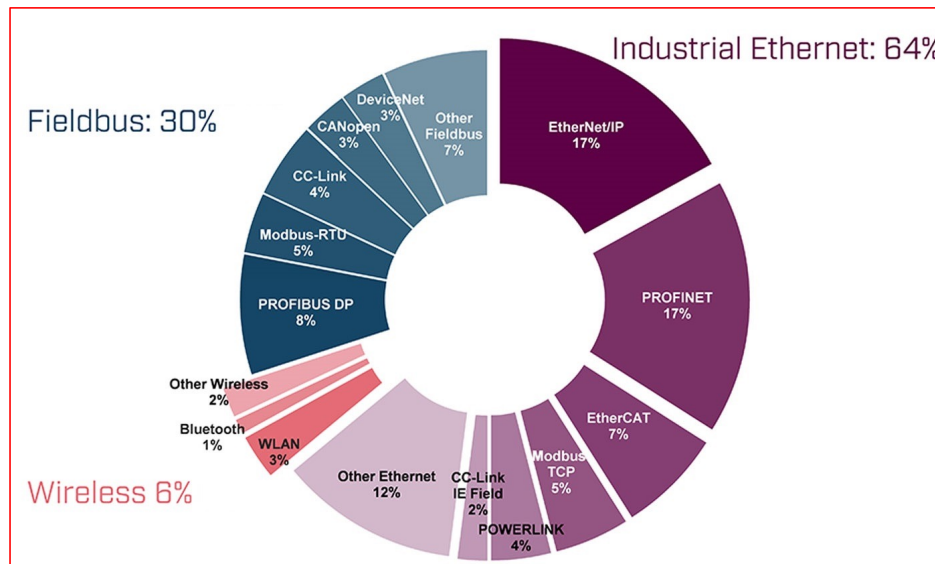
### Défis:

- explosion des données,
- latence,
- sécurité et sûreté des données,
- environnement difficile.

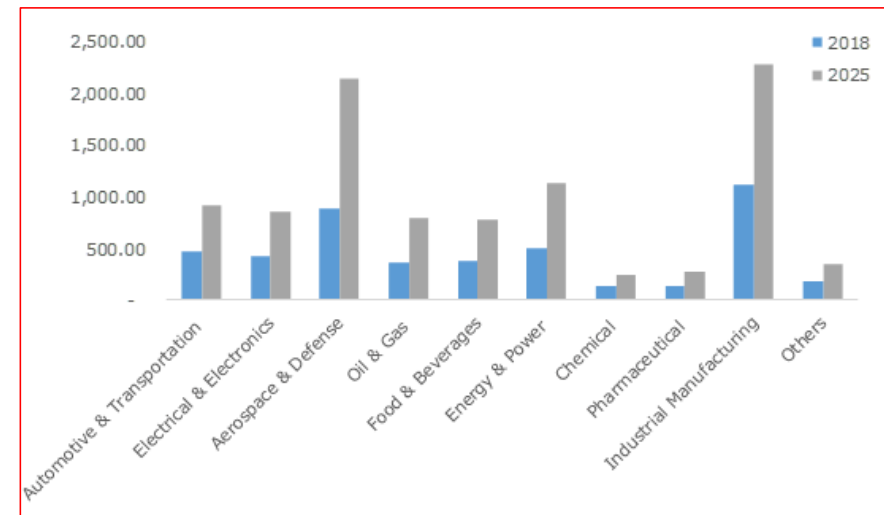
### Marché de la communication industrielle

- + 80 M\$ en 2018,
- 2019→2025: CAGR +10%,
- Industrie 4.0,
- Matériel: 75%,
- Intégration de services.

# INS - Tendances de marché

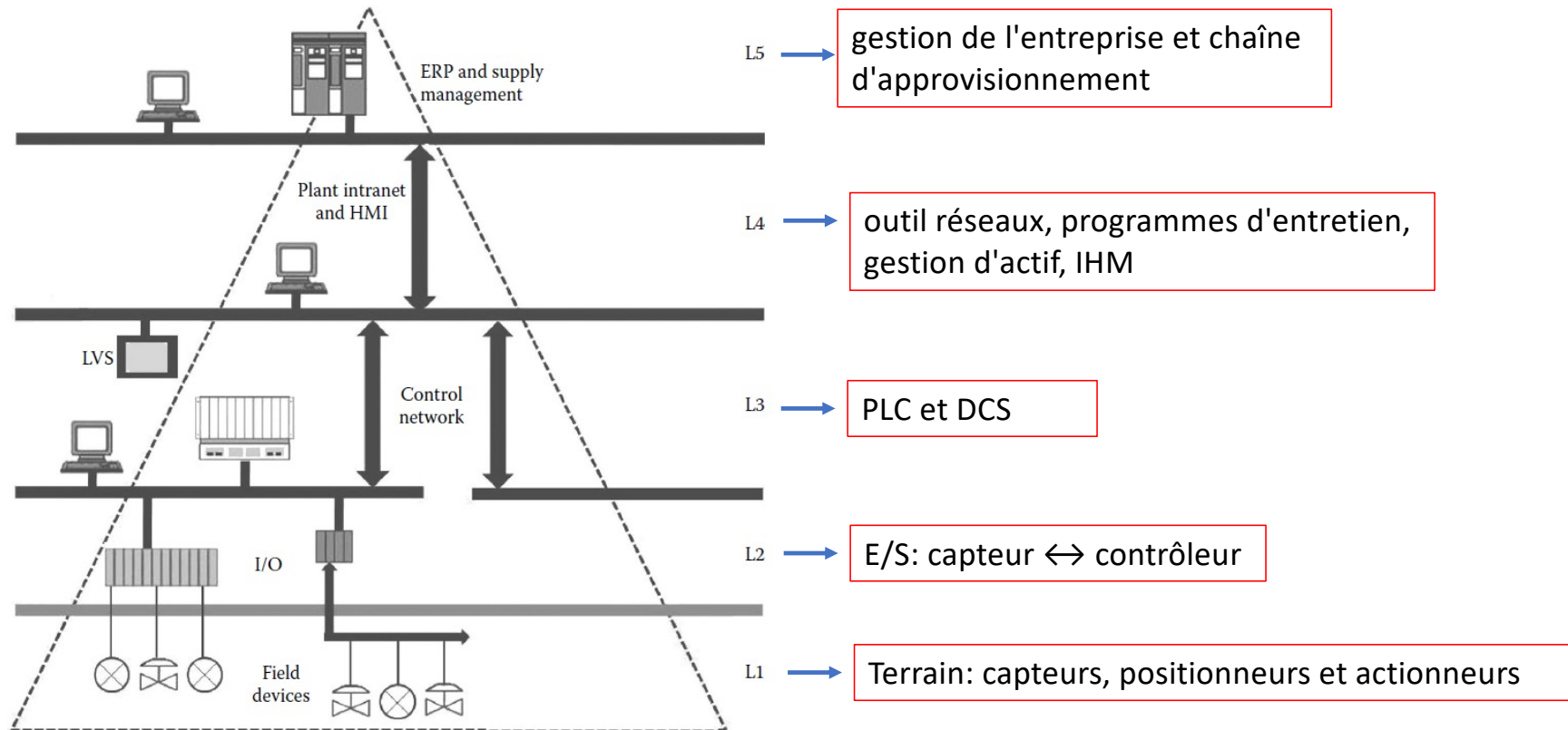


Marché de connectivité suivant le protocole utilisé

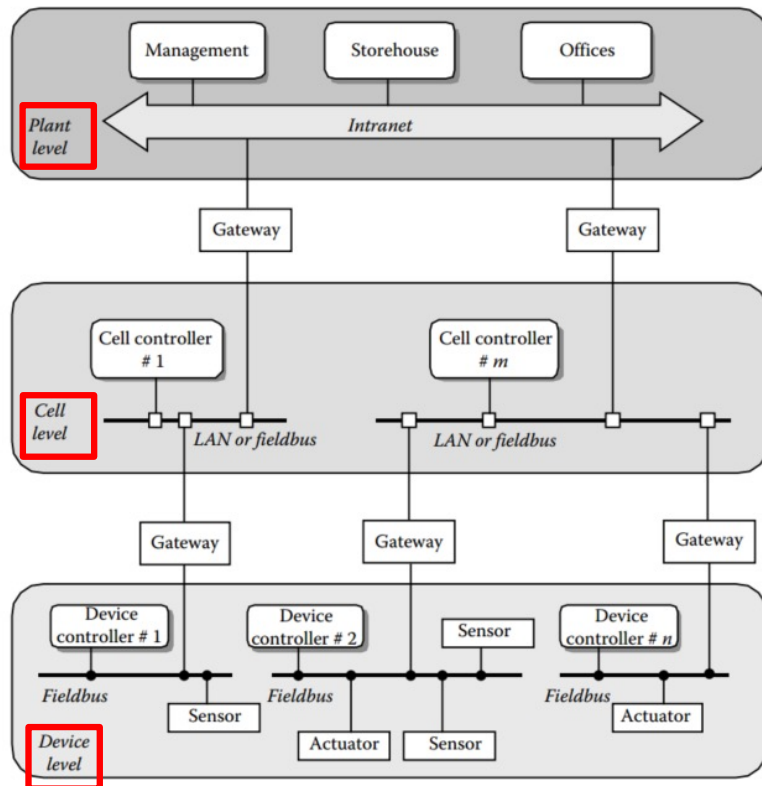


Evolution du marché la communication industrielle en m\$ suivant le secteur industriel au Japon

# INS - Hiérarchie d'automatisation



# INS - Hiérarchie d'automatisation



## Usine

- Niveaux L5.
- quantités considérables de données.

## Cellule

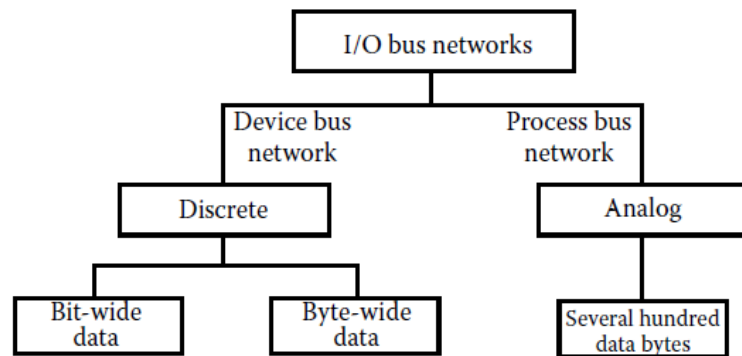
- niveaux L3 et L4.
- plus grandes quantités de données.
- pas de criticité.

## Terrain

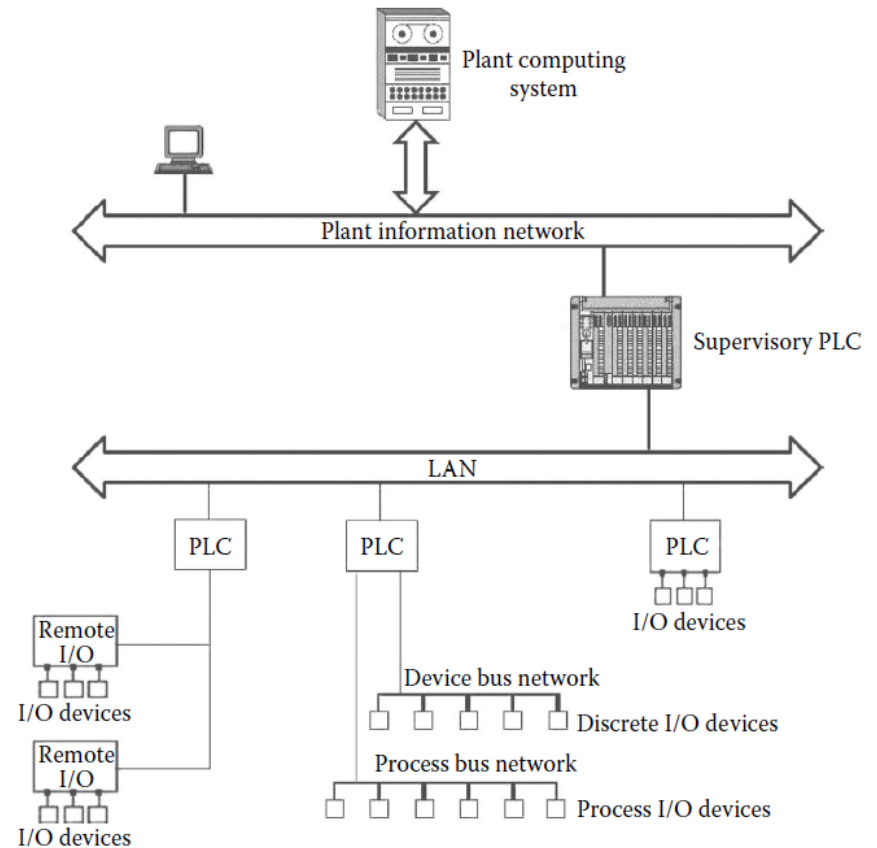
- niveaux L1 et L2.
- transmissions cycliques à grande vitesse.
- transmissions d'alarmes.
- petites quantités de données.



# INS - Bus d'E/S

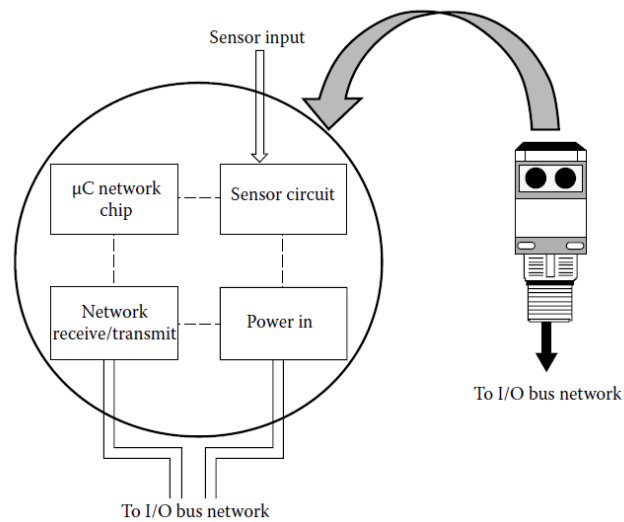


**Classification des bus d'E/S au niveau terrain**

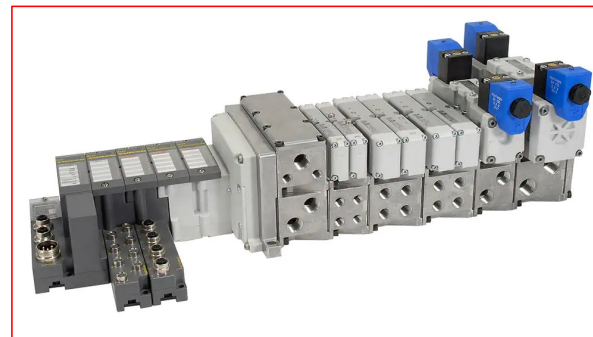


**Interconnexions entre automates, LAN et réseau de bus d'E/S**

# INS - Bus d'E/S



Dispositif de terrain intelligent utilisé dans le réseau de bus d'E/S

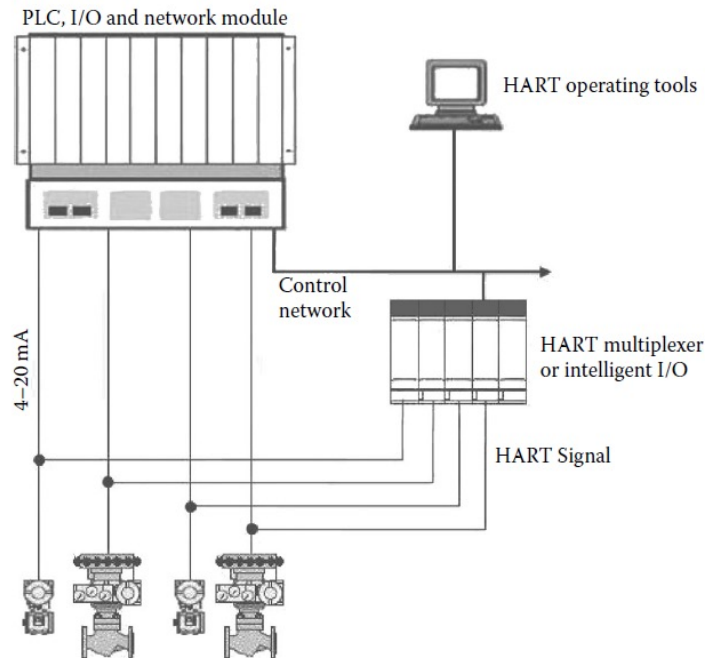


**Bus de terrain pneumatique**  
 DeviceNet, Ethernet/IP, Profibus-DP, Profinet IO, Modbus/TCP et CANopen.  
**Options E/S :**  
 E/S num et analog.,



[https://www.automation24.fr/capteur-de-distance-laser-ifm-electronic-oid200-oidcpkg-us?previewPriceListId=1&gclid=CjwKCAjwp\\_GJBhBmEiwALWBQk5\\_a8p7uX2S2PzF9Mb1x9v3Njbh5gKndUwuAxsE5EA0jN44kgn6c4hoCuHgQAvD\\_BwE](https://www.automation24.fr/capteur-de-distance-laser-ifm-electronic-oid200-oidcpkg-us?previewPriceListId=1&gclid=CjwKCAjwp_GJBhBmEiwALWBQk5_a8p7uX2S2PzF9Mb1x9v3Njbh5gKndUwuAxsE5EA0jN44kgn6c4hoCuHgQAvD_BwE)

# INS - Bus d'E/S



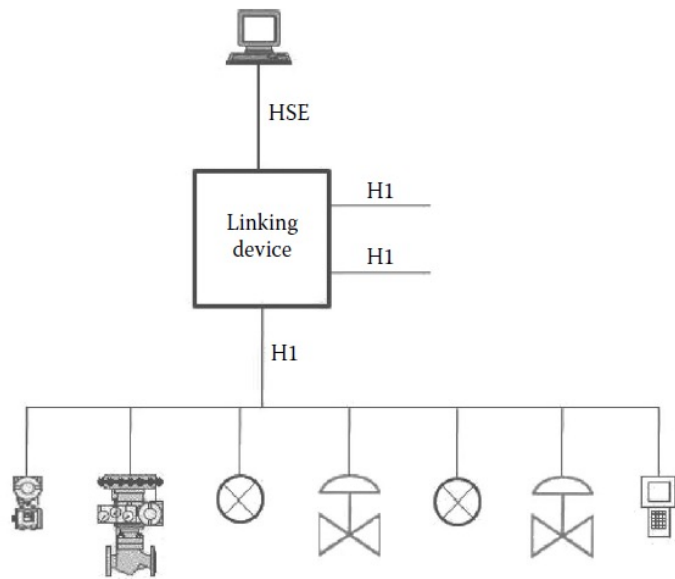
détecteur de gaz 4-20 mA



Multiplexeur HART

Connexions de signaux analogiques et hybrides à un automate

# INS - Bus d'E/S



Connexions du segment de bus de terrain Foundation au contrôleur



Boîte de jonction de bus Fieldbus compatible H1 et PA



Linking Device LD 800HSE entre HSE et H1

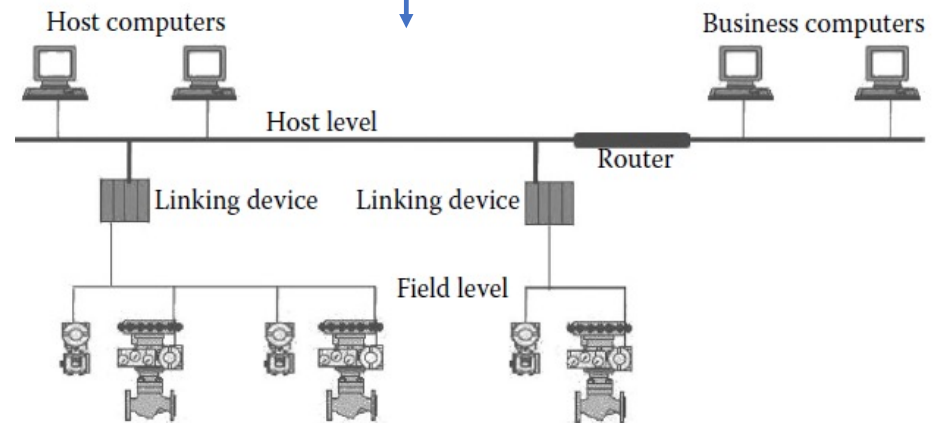
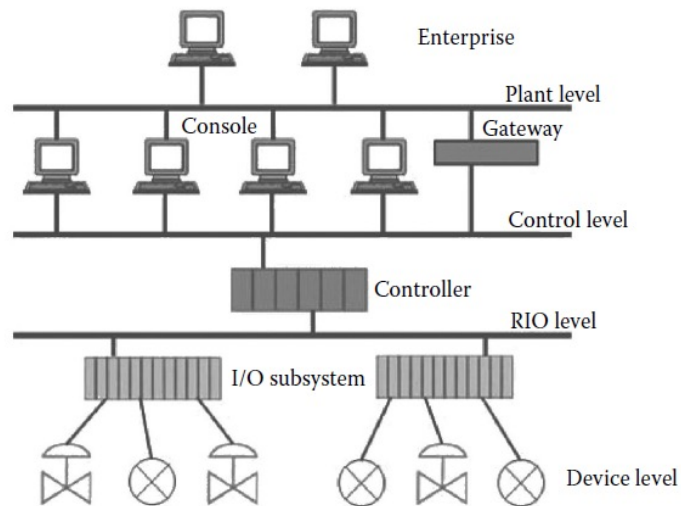
# INS - Bus d'E/S

Objectif: vers une décentralisation du système.

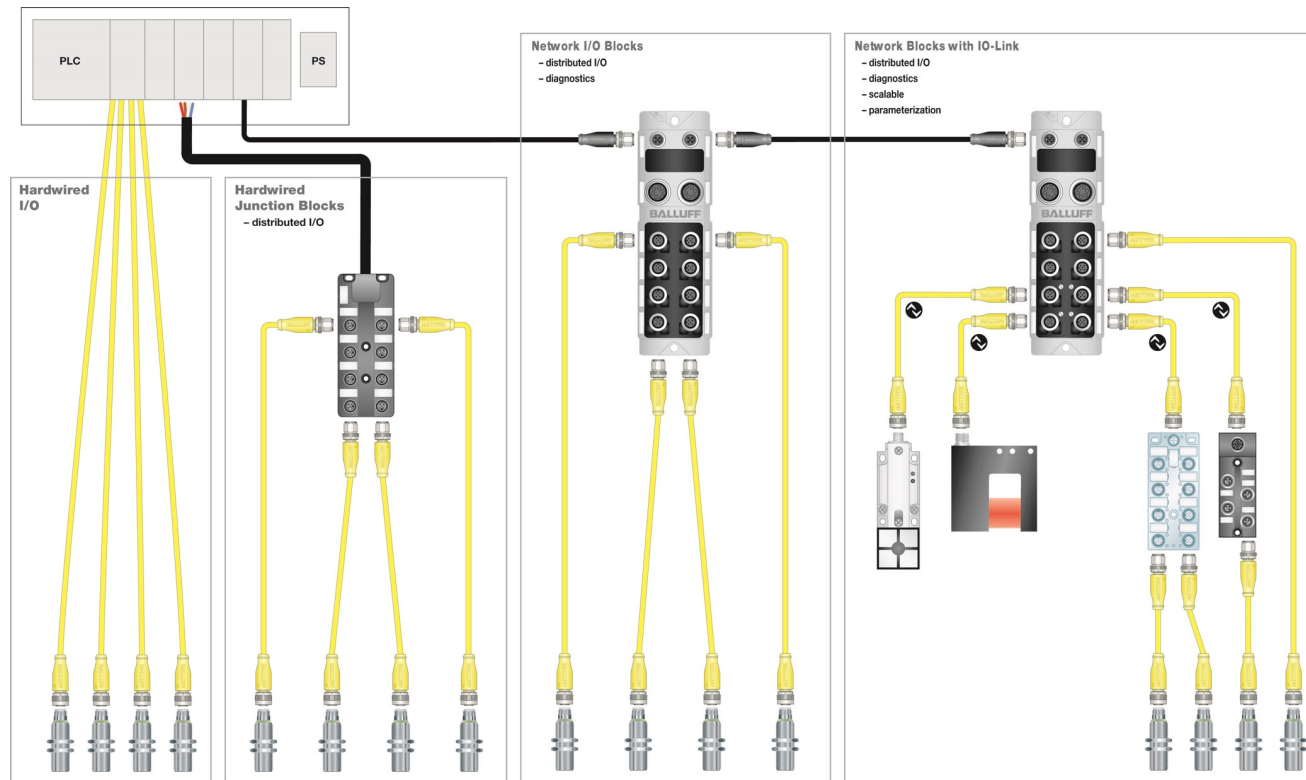
**DDC: ordinateur central**

**DCS: plusieurs ordinateurs**

**FCS: contrôle dans le terrain**



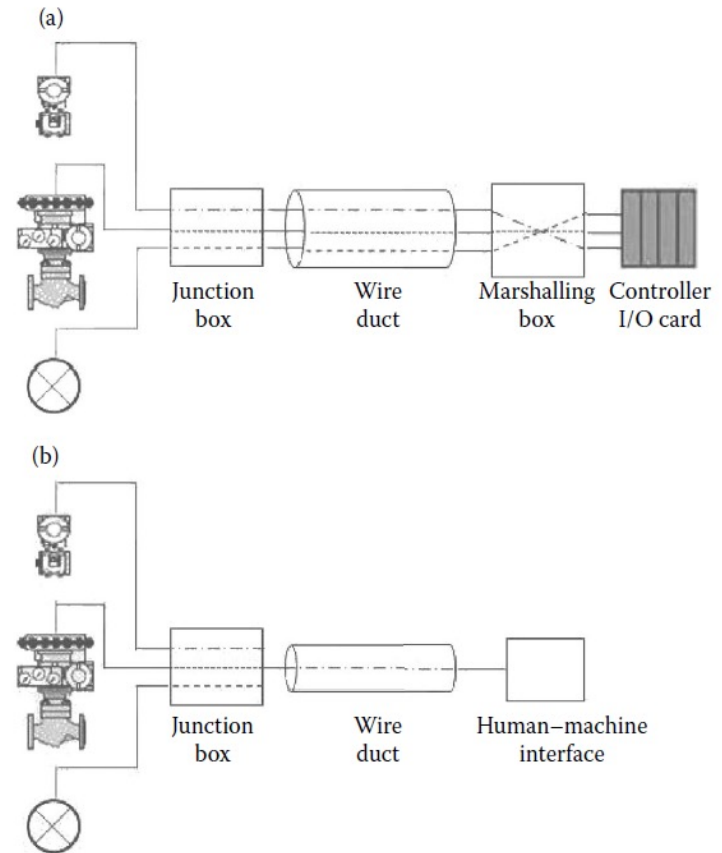
# INS - Bus d'E/S



# INS - Bus de terrain

- Réseau local dédié à l'automatisation industrielle,
- Liaison de communication multipoints numérique bidirectionnelle,

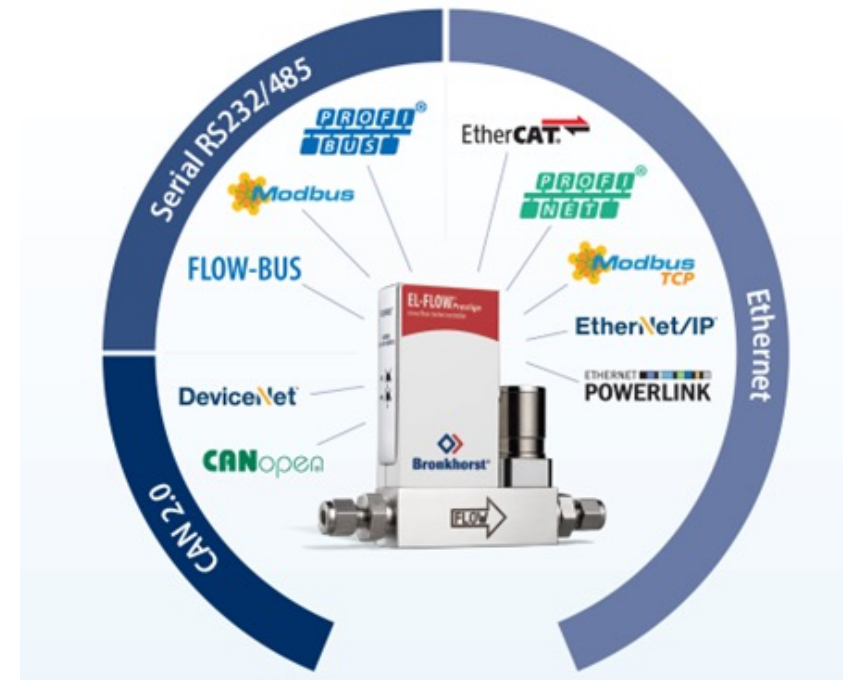
Multiplexage



# INS - Bus de terrain

## Normalisation

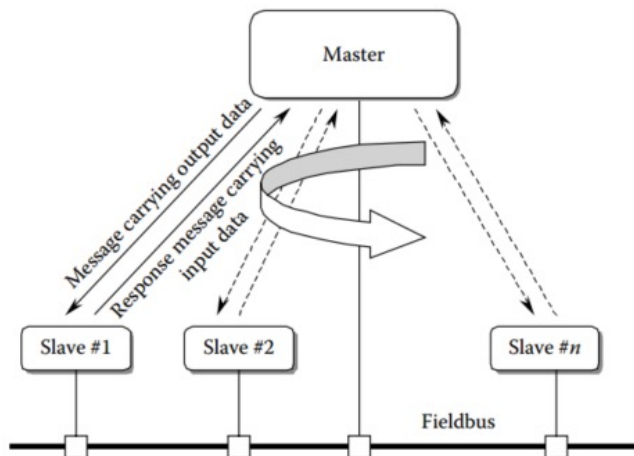
- Comité ISO/ISA SP50
- **IEC 61158-2:**
  - Spécification de la couche physique et définition du service.
- **IEC 61784:**
  - Supplémente la IEC 61158 pour faciliter l'implémentation.
  - Exemple, IEC 61784-2, Real-time Ethernet.
- **IEC 62026:**
  - Controller-device interfaces,
  - AS-i, DeviceNet, CompoNet
- **ISO 11898:**
  - Couche physique et liaison CAN



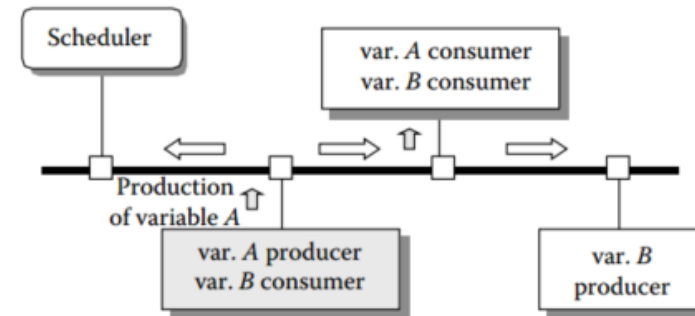


# INS - Caractéristiques et exigences

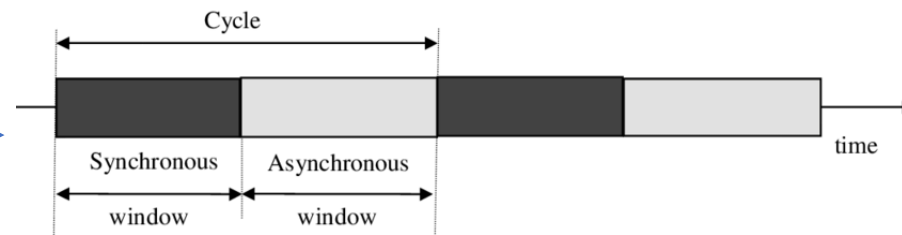
## Transmission périodique de message



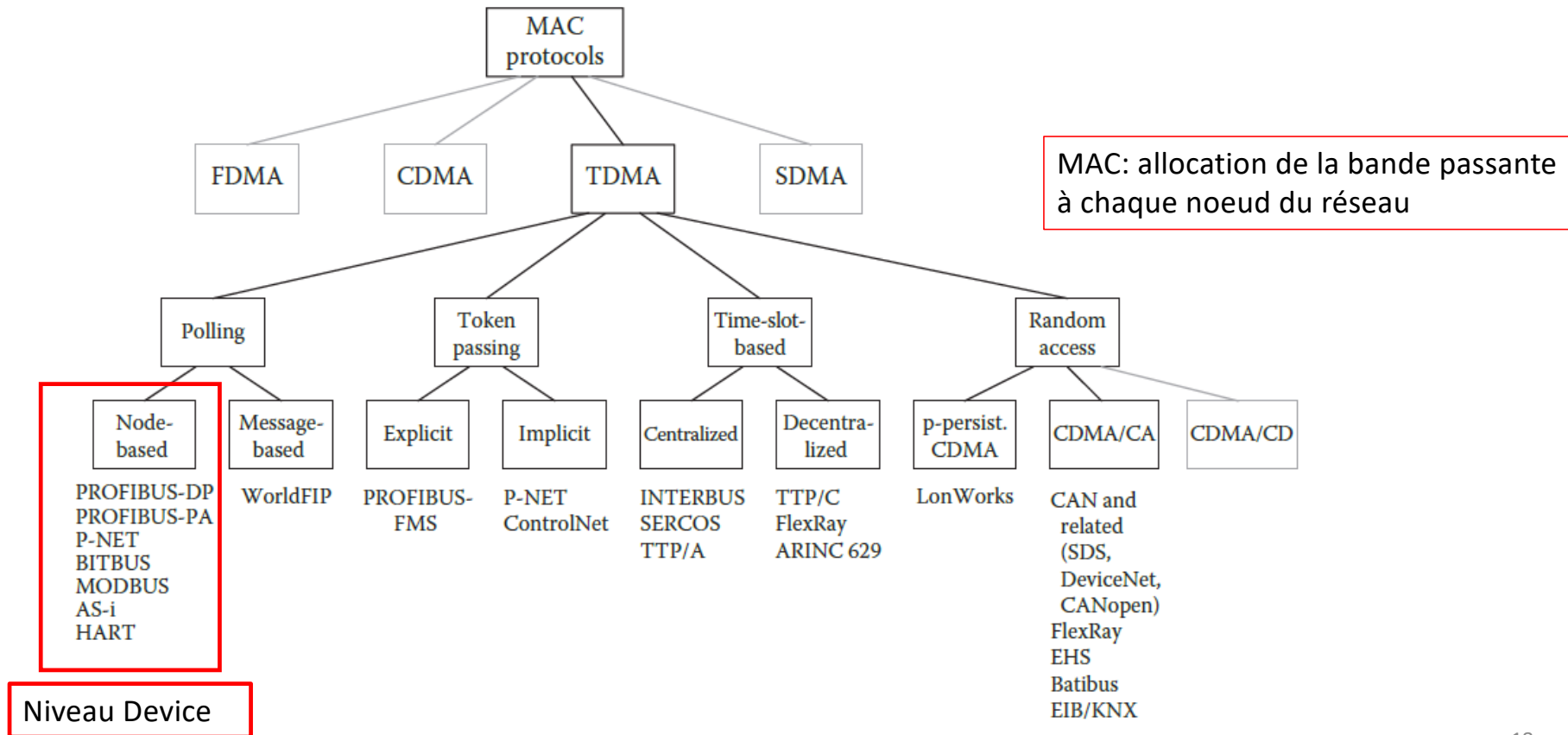
## Publish-Subscribe



Gestion des événements sporadiques tels que des alarmes

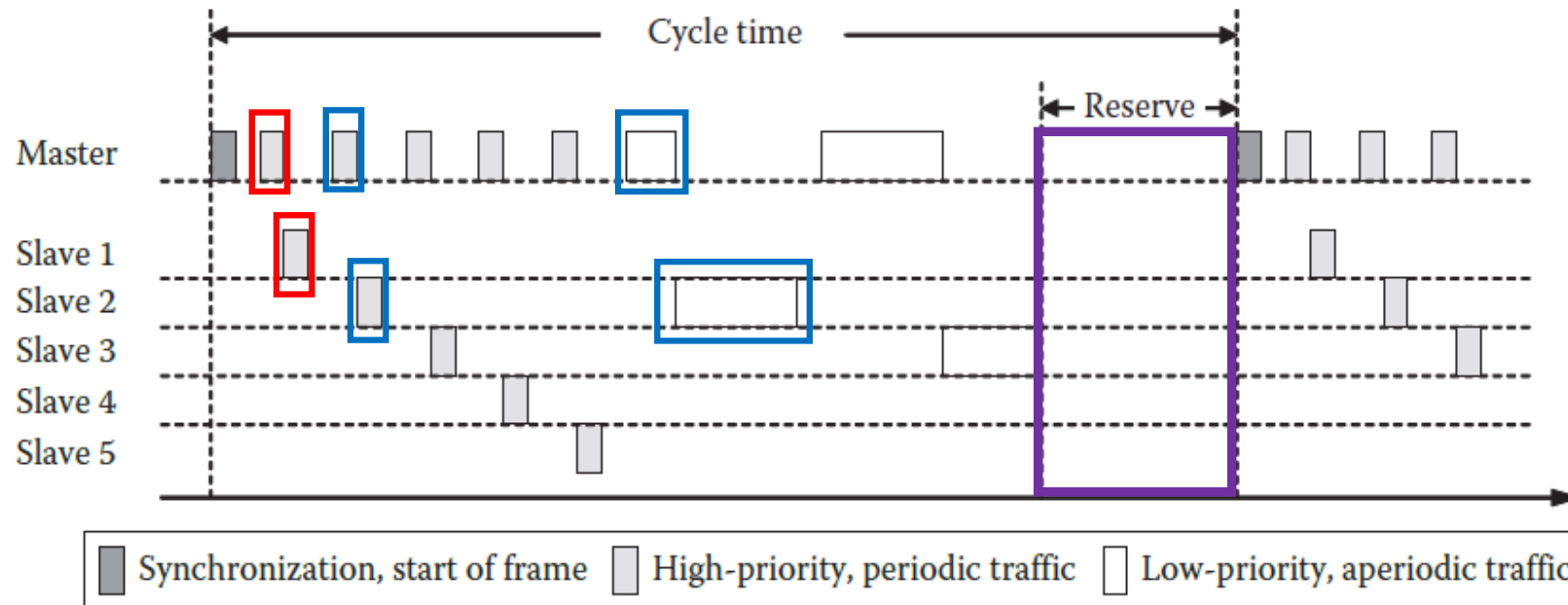


# INS - Caractéristiques et exigences



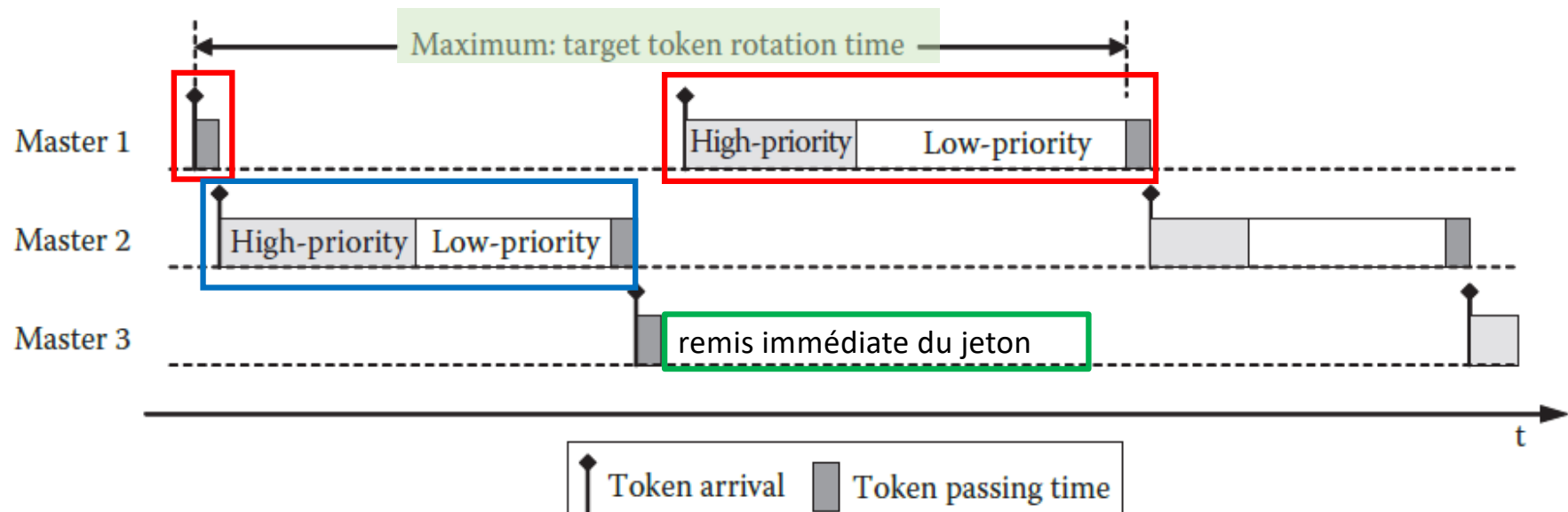
# INS - Caractéristiques et exigences

**Polling:** interrogation cyclique: AS-i, HART, ModBus, Profibus, système multi-maître (Profibus -FMS ou P-NET)



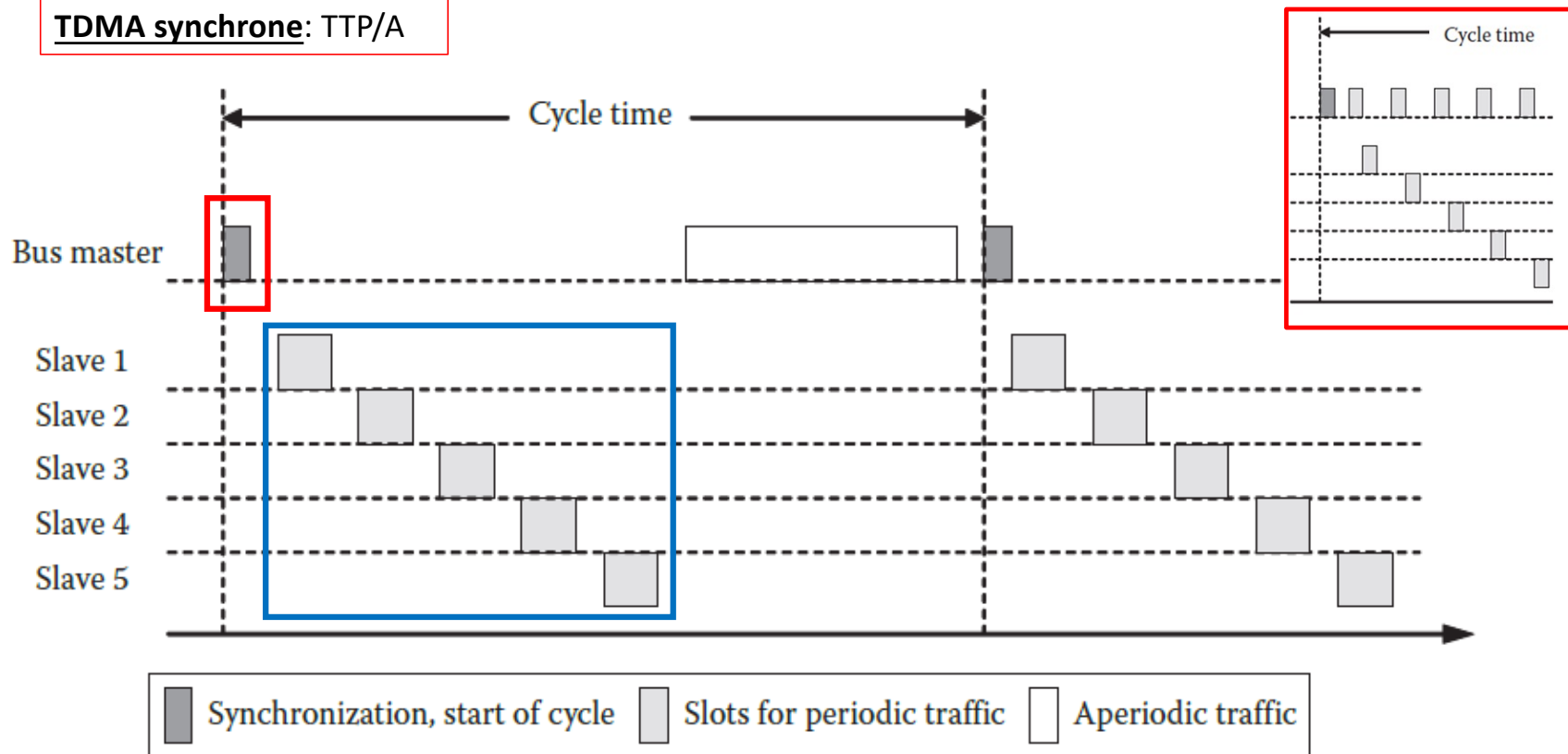
# INS - Caractéristiques et exigences

**Token:** jeton, un message court (Profibus-DP/DA), compteurs distribués



# INS - Caractéristiques et exigences

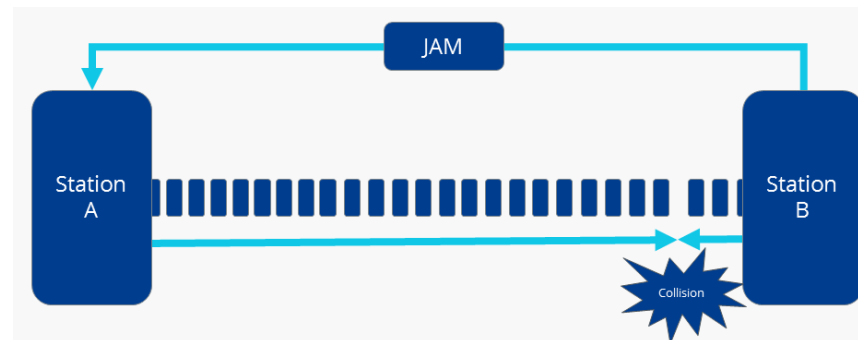
**TDMA synchrone: TTP/A**



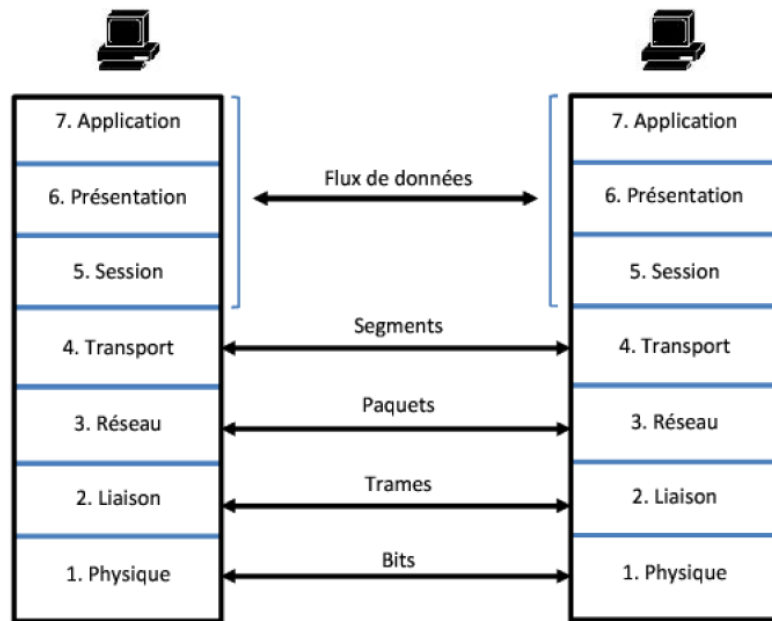
# INS - Caractéristiques et exigences

## CSMA:

- réseaux LAN Ethernet half-duplex → Collisions → délais de communication excessifs et aléatoires,
- **CSMA/CD**: Collision Detection, Ethernet
- **CSMA/CA**: Collision Avoidance, Wifi
- **Bus CAN**: CSMA-BA



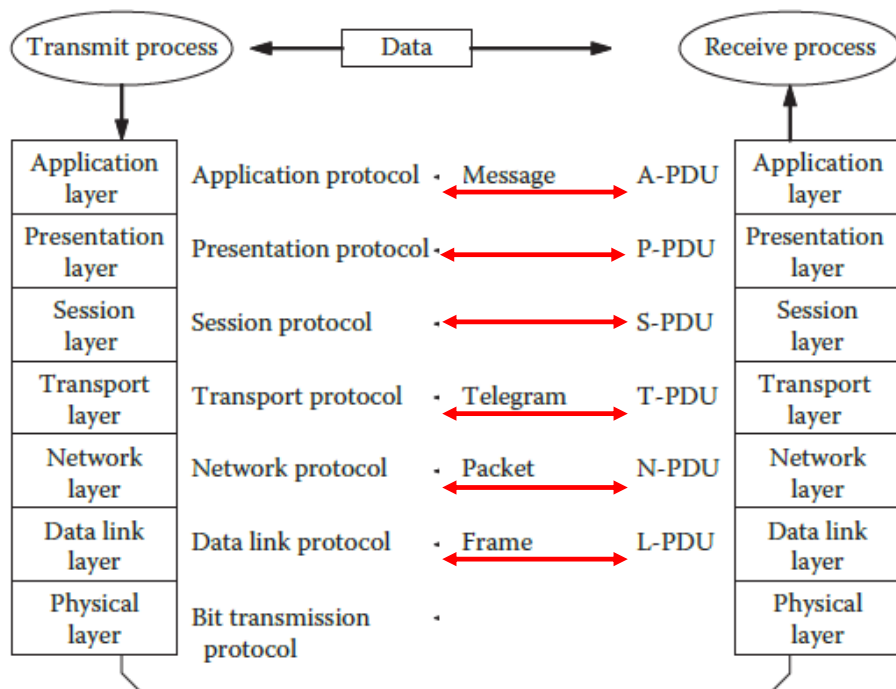
# Modèle de référence



- Fournit un cadre pour la conception de systèmes réseaux,
- Modularité et hiérarchie,
- Expliquer leurs fonctionnements
- Définit les fonctions réseaux (couche et composants)
- Niveau d'abstraction élevé

**OSI: Open System Interconnection, Interconnexion des systèmes ouverts**

# Modèle de référence



**Protocole:** N (Source) ↔ N (Destination)

- Règles entre deux couches homologues
- **PDU:** Protocol Unit Data

**Service:** N ↔ N-1 (même noeud)

- Fonctionnalités entre deux couches adjacentes
- **SDU:** Service Data Unit

**Interface:** N ↔ N-1 (même noeud)

- SAP spécifie les services proposés par la couche inférieure à la couche supérieure et les paramètres qui doivent être transférés.



# INS – Ethernet

- Avantages
  - Interopérabilité des protocoles de communication
- Défis
  - **Topologie**: flexibilité, évolutivité, protocoles industriels,
  - **Performances**: temps de cycle, synchronisation de l'horloge, gigue, latence, débit, ...
  - **Temps-réel**: delivery time, nombres d'éléments RTE, précision de la synchronisation, gigue, Redundancy recovery time.

# Modèle TCP/IP

## Modèle TCP/IP, Couche 3: Réseaux

- adressage logique: IPv4 (RFC 791)
- Routage: RIP (RFC 1058), RIP2 (RFC 2453), OSPF (RFC 1131) , OSPF2 (RFC 2328)
- ICMP (RFC 792)
- ARP (RFC 826)

RFC: Request For Comment !

# Modèle TCP/IP

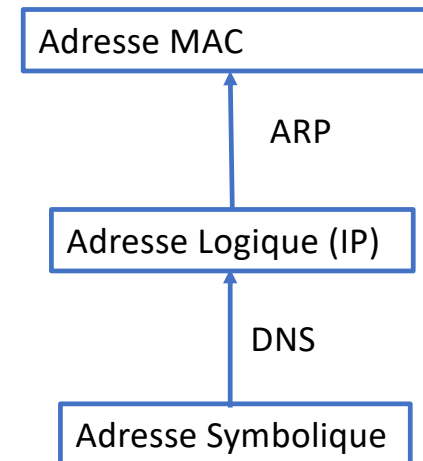
## Niveau d'adressage:

- Adresse physique (MAC)
- Adresse logique (IPv4, IPv6)
- Adresse symbolique

## recherche DNS pour www.google.com

Type	Hôte	Classe	TTL	Données
AAAA	www.google.com	IN	283	ipv6 = 2607:f8b0:4000:80d::2004
A	www.google.com	IN	300	ip = 216.58.194.132

```
Carte Ethernet Ethernet :
  Suffixe DNS propre à la connexion. . . : home
  Description . . . . . : Intel(R) Ethernet Connection I219-LM
  Adresse physique . . . . . : 98-E7-F4-F5-7B-4B
  DHCP activé. . . . . : Oui
  Configuration automatique activée. . . : Oui
  Adresse IPv6. . . . . : 2a01:cb04:199:d100:894d:46b1:4679:d334(préfééré)
  Adresse IPv6 temporaire . . . . . : 2a01:cb04:199:d100:9d3:1769:ac7e:d8d5(préfééré)
  Adresse IPv6 de liaison locale. . . . . : fe80::894d:46b1:4679:d334%10(préfééré)
  Adresse IPv4. . . . . : 192.168.1.13(préfééré)
  Masque de sous-réseau. . . . . : 255.255.255.0
  Bail obtenu. . . . . : mercredi 8 avril 2020 11:44:05
  Bail expirant. . . . . : jeudi 9 avril 2020 11:44:04
  Passerelle par défaut. . . . . : fe80::8ef8:13ff:fe0f:39b0%10
  . . . . . : 192.168.1.1
  Serveur DHCP . . . . . : 192.168.1.1
  IAID DHCPv6 . . . . . : 110684148
  DUID de client DHCPv6. . . . . : 00-01-00-01-25-02-CD-E2-98-E7-F4-F5-7B-4B
  Serveurs DNS. . . . . : fe80::8ef8:13ff:fe0f:39b0%10
  . . . . . : 192.168.1.1
```



# Modèle TCP/IP

## Adressage IPv4

- Unique pour le réseau Internet: ICANN
- x.y.z.w, 32 bits, x, y, z, w  $\in$  [0, 255]
- Privée, pas internet, administrateur

70.27.45.33 -> Classe ?

0100 0110

Classe A

193.27.45.33 -> Classe ?

1100 0001

Classe C

## Classes réseaux IPv4

IP:	IDR	IDM	Réseaux	Machines par réseau	Masque par défaut
<b>A</b>	x	y.z.w	$2^7$	$2^{24}-2$	255.0.0.0
<b>B</b>	x.y	z.w	$2^{14}$	$2^{16}-2$	255.255.0.0
<b>C</b>	x.y.z	w	$2^{21}$	$2^8-2$	255.255.255.0
<b>D</b>	x.y.z.w	-	Multicast		

# Modèle TCP/IP

## Classless:

- Pas de classe
- Comment connaître la taille de IDR?
  - **Masque: 32 bits**, masquer l'IDM
- Notation CIDR
  - **IP/Masque**
  - 123.11.21.65/12
  - 12 bits pour IDR
  - Masque: 255.240.0.0

<b>/12</b>	x	y	z	w
<b>masque</b>	1111 1111	1111 0000	0000 0000	0000 0000
<b>masque</b>	255	240	0	0

## Règles importantes

$$n+m = 32$$

Adresse machine	IDR	IDM
taille	n	m
Adresse réseau	IDR	0...0
Adresse diffusion	IDR	1.....1
Masque	11.....1	0.....0

Classe C: 197.194.192.21

Adresse machine	IDR: 197.194.192	IDM: 21
taille	n=24	m=8
Adresse réseau	197.194.192	0
Adresse diffusion	197.194.192	255
Masque	255.255.255	0

Adresse réseau: @IP machine ET Masque

Adresse machine	197	194	192	21
masque	255	255	255	0
ET				
Adresse réseau	197	194	192	0

Adresse diffusion: @IP réseau OU inv(Masque)

Adresse réseau	197	194	192	0
inv(masque)	0	0	0	255
OU				
Adresse diffusion	197	194	192	255

# Modèle TCP/IP

**Plan d'adressage:** 201.45.222.0

Adresse	IDR	IDM
taille	n=24	m=8
	201.45.222	0

Adresse	IDR	IDSR	IDM
taille	n	l	m-l
Nouvelle adresse	IDR		IDM

201.45.222	x	xxx xxxx	
	0	000 0000	→ 201.45.222.0
	1	000 0000	→ 201.45.222.128

l = 1 → nouveau IDR : n+l = 25  
**Masque : /25** → 255.255.255.128

## SR1:

@Réseau: 201.45.222.0/25  
 @Diffusion: 201.45.222.127  
 Première @machine: 201.45.222.1  
 Dernière @machine: 201.45.222.126

## SR2:

@Réseau: 201.45.222.128/25  
 @Diffusion: 201.45.222.255  
 Première @machine: 201.45.222.129  
 Dernière @machine: 201.45.222.254

# Modèle TCP/IP

**Plan d'adressage:** 201.45.222.0

Adresse	IDR	IDM
taille	n=24	m=8
	201.45.222	0

**SR1:** 201.45.222.0/26  
**SR2:** 201.45.222.64/26  
**SR3:** 201.45.222.128/26  
**SR4:** 201.45.222.192/26

Adresse	IDR	IDSR	IDM
taille	n	l	m-l
Nouvelle adresse	IDR		IDM

201.45.222	xx	xx xxxx	
	00	000 0000	→ 201.45.222.0
	01	000 0000	→ 201.45.222.64
	10	000 0000	→ 201.45.222.128
	11	000 0000	→ 201.45.222.192

$l = 2 \rightarrow$  nouveau IDR :  $n+l = 26$   
**Masque :** /26 → 255.255.255.192



# Modèle TCP/IP

201.45.222.0. Plan d'adressage:

- S1, S2, S3, S4 : 10 machines,
- S5 : 50 machines,
- S6 : 100 machines.

- Nombre SR: 6  $\rightarrow$  l = 3
- m-l = 8 - 3 = 5 bits
- 30 machines
- Problème pour : S5 et S6
- Masque dynamique

201.45.222.0/25	<b>S6:</b>	2 <sup>7</sup> -2 = 126 machines
201.45.222.128/25		

**201.45.222.128/25**

201.45.222.128/26	<b>S5:</b>	2 <sup>6</sup> -2 = 62 machines
201.45.222.192/26		

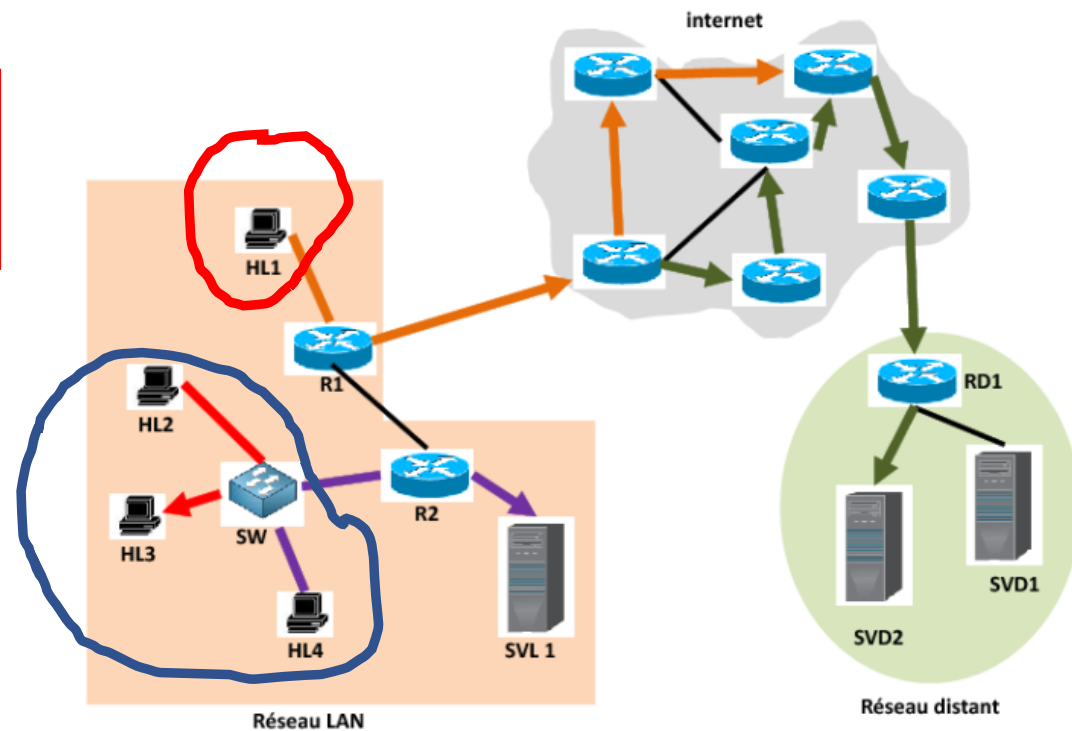
**201.45.222.192/26**

201.45.222.192/28	<b>S1:</b>	2 <sup>4</sup> -2=14 machines
201.45.222.208/28	<b>S2:</b>	
201.45.222.224/28	<b>S3:</b>	
201.45.222. 240/28	<b>S4:</b>	

# Modèle TCP/IP

## Routage

- Trouver un chemin pour livrer un paquet IP de la station source vers la station destination.

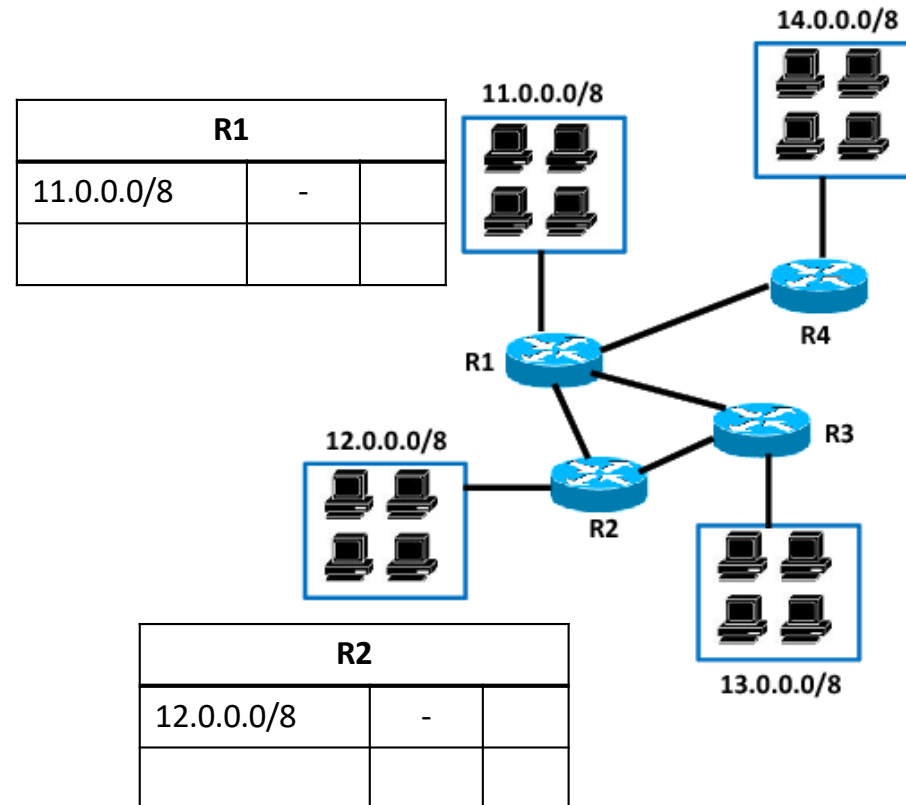


# Modèle TCP/IP

Table de routage		
@IP réseau destination	Passerelle de passage	Métrieque (saut)

## Algorithme RIP

- mise à jour table de routage entre voisins



Algorithme RIP

Mise à jour entre voisins

R1		
11.0.0.0/8	-	
12.0.0.0/8	R2	1
13.0.0.0/8	R3	1

R2		
12.0.0.0/8	-	
11.0.0.0/8	R1	1
13.0.0.0/8	R3	1

R3		
13.0.0.0/8	-	
11.0.0.0/8	R1	1
12.0.0.0/8	R2	1

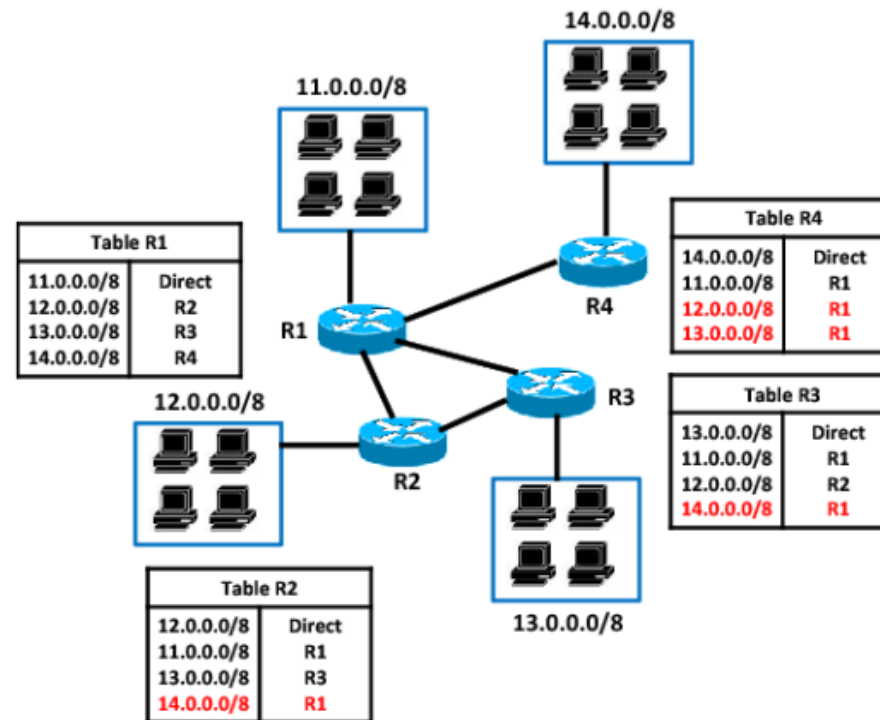
Mise à jour entre voisins

R1		
11.0.0.0/8	-	
12.0.0.0/8	R2	1
13.0.0.0/8	R3	1
<del>12.0.0.0/8</del>	<del>R2</del>	<del>1</del>
11.0.0.0/8	R2	2
13.0.0.0/8	R2	2
13.0.0.0/8	R3	1
11.0.0.0/8	R3	2
12.0.0.0/8	R3	2

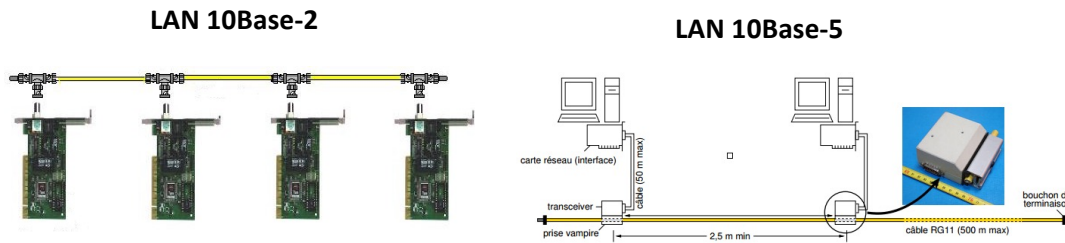
R1		
11.0.0.0/8	-	
12.0.0.0/8	R2	1
13.0.0.0/8	R3	1
14.0.0.0/8	R4	1

# Modèle TCP/IP

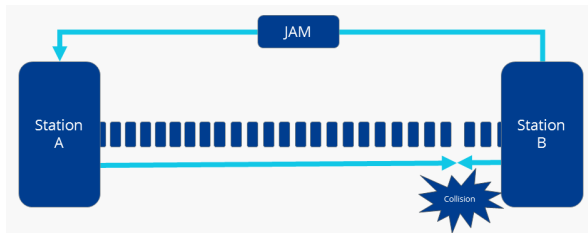
Algorithme RIP



# Réseaux LAN

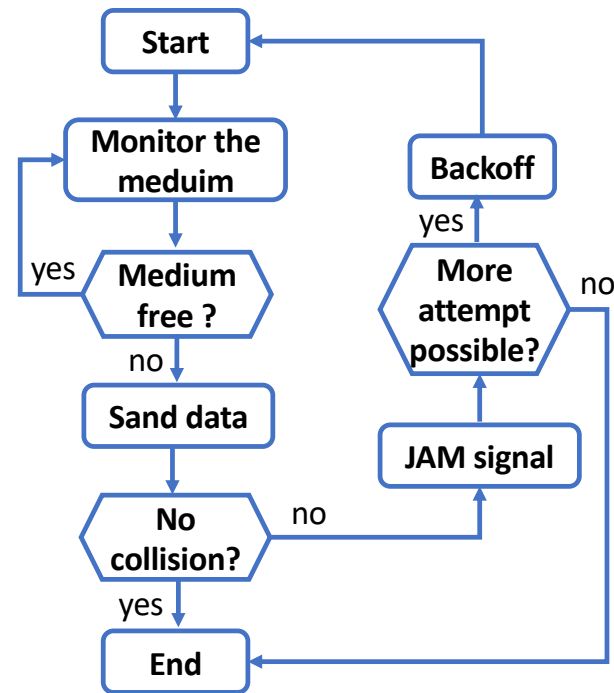


Topologie Bus Half-Duplex: Collision

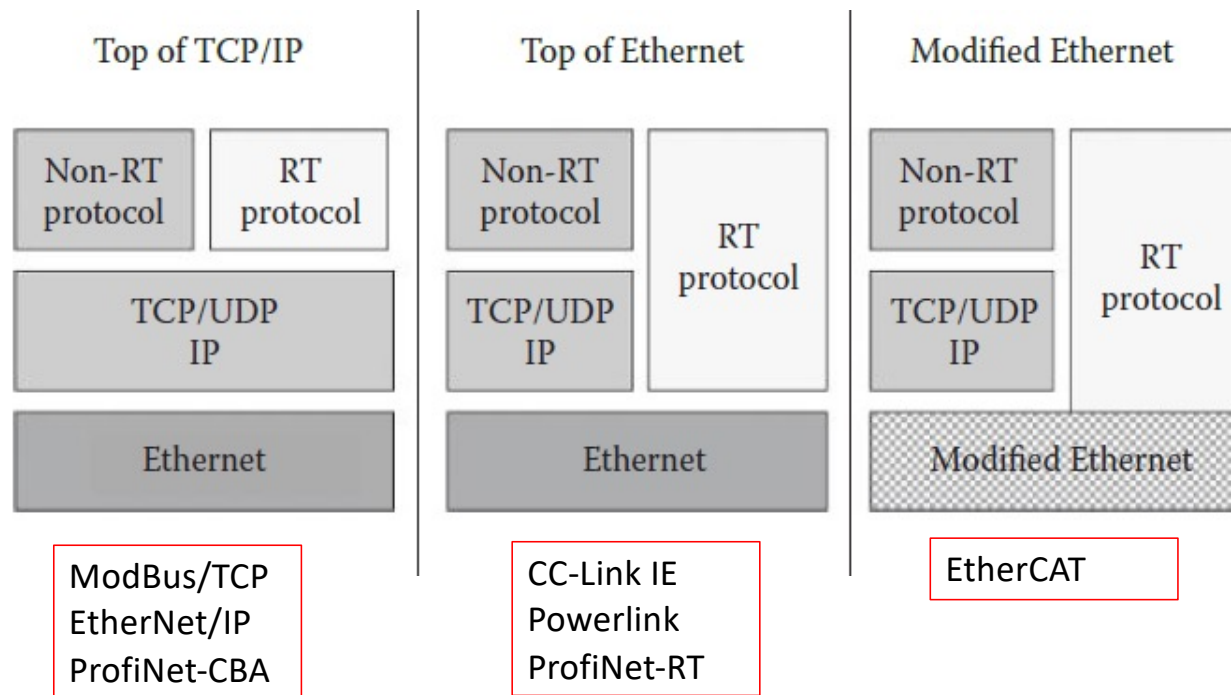


Backoff  $\in [0, 2^c - 1] * ST$ ,  $c$ : nombre de tentatives  
 $ST$ : slot-time (défini par le standard) = 51.2  $\mu$ s (10Base-T)

CSMA/CD: Collision Avoidance



# INS - Ethernet



# Modèle TCP/IP

## Datagramme IP

### LEN Header: 4 bits.

- LEN Header min =  $5 * 4 = 20$  octets
- LEN Header max =  $15 * 4 = 60$  octets

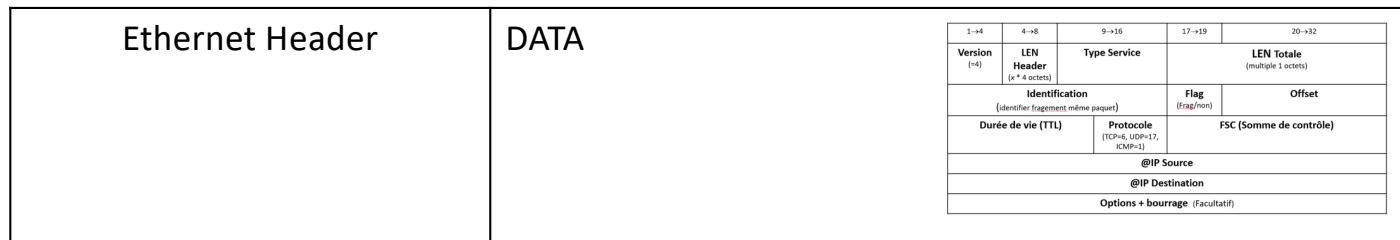
### LEN Totale:

- 16 bits  $\rightarrow 2^{16} - 1 = 65536$  octets

0→3	4→7	8→15	16→18	19→31
<b>Version</b> (=4)	<b>LEN Header</b> (x * 4 octets)	<b>Type Service</b>	<b>LEN Totale</b> (multiple 1 octets)	
<b>Identification</b> (identifieur fragmentation même paquet)			<b>Flag</b> (Frag/non)	<b>Offset</b>
<b>Durée de vie (TTL)</b>		<b>Protocole</b> (TCP=6, UDP=17, ICMP=1)	<b>FSC (Somme de contrôle)</b>	
<b>@IP Source</b>				
<b>@IP Destination</b>				
<b>Options + bourrage</b> (Facultatif)				
Data				



# Modèle TCP/IP



min 64 → max 1522 octets



### Original IP Datagram

Sequence	Identifiant	Total Length	DF May / Don't	MF Last / More	Fragment Offset
0	345	5140	0	0	0

### IP Fragments (Ethernet)

Sequence	Identifiant	Total Length	DF May / Don't	MF Last / More	Fragment Offset
0-0	345	1500	0	1	0
0-1	345	1500	0	1	185
0-2	345	1500	0	1	370
0-3	345	700	0	0	555

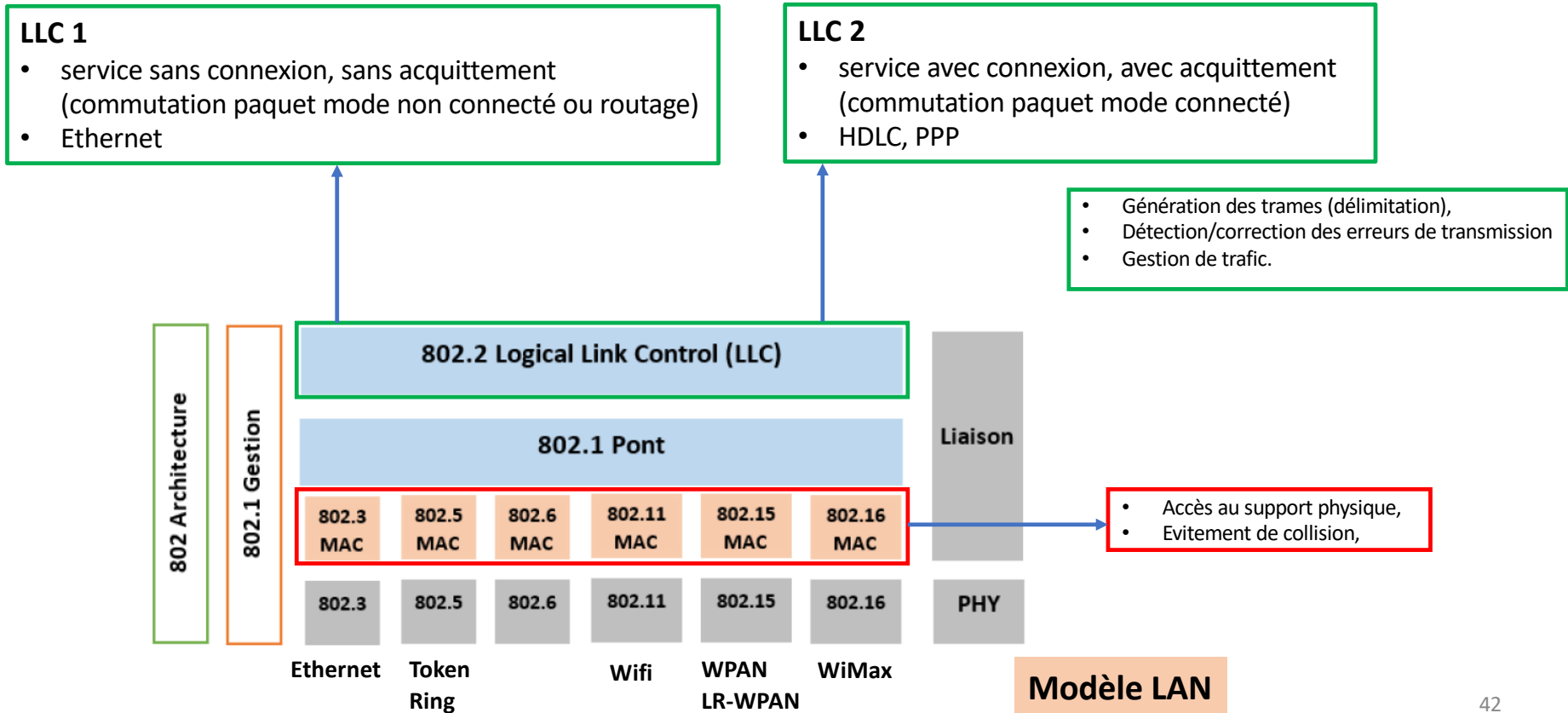
Max LEN Totale PDU IPv4

- 16 bits →  $2^{16} - 1 = 65536$  octets

Max SDU Ethernet

- 1522 octets → Fragmentation

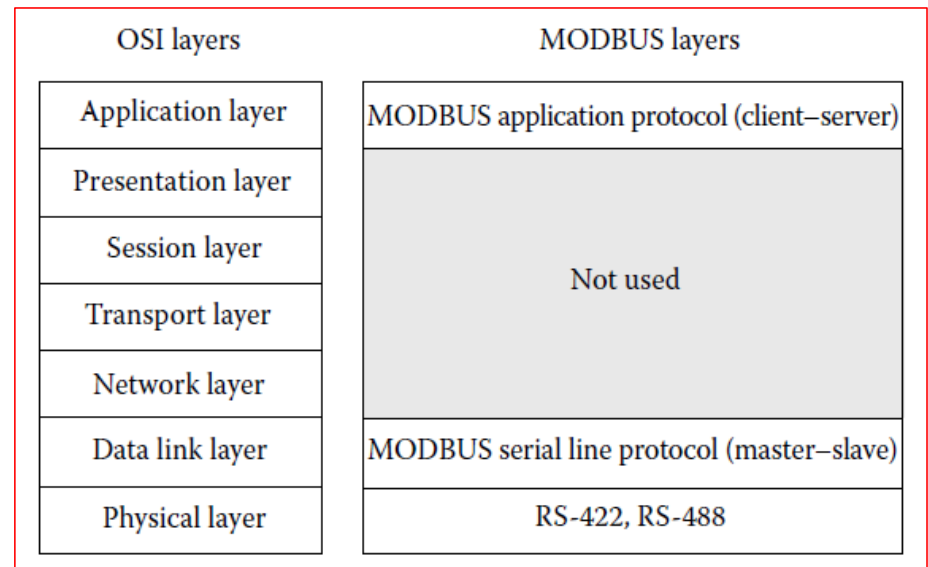
# Réseaux LAN



# INS – Ethernet classe 1: ModBus/TCP

## **ModBus:**

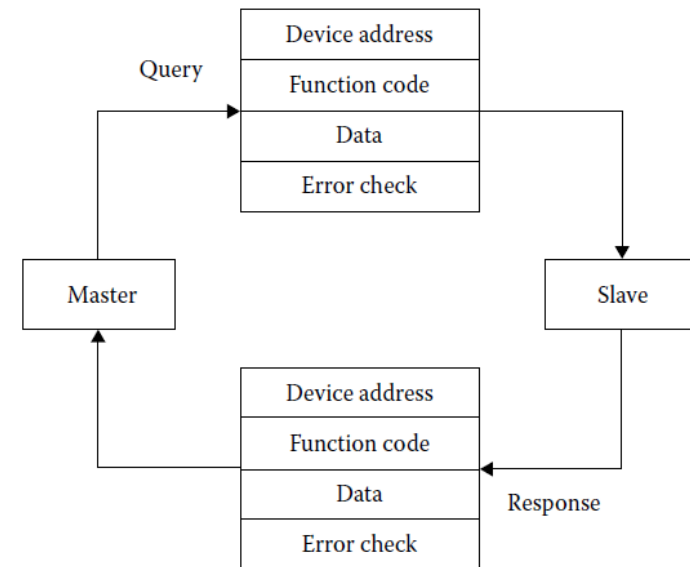
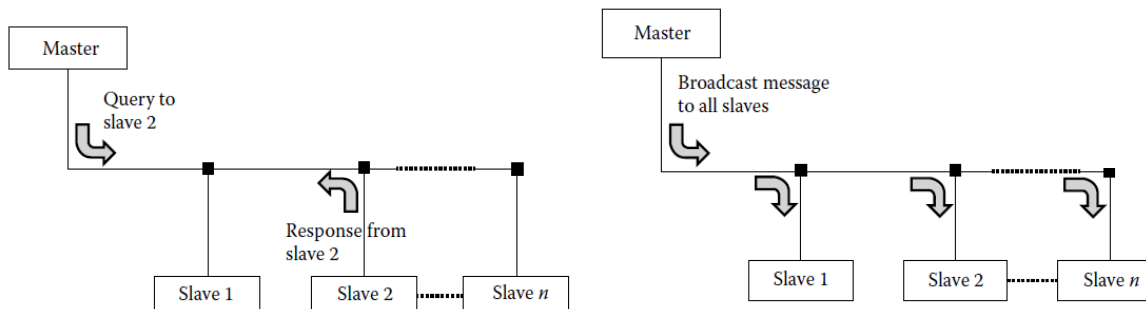
- Protocole de messagerie maitre-esclave,
- Jusqu'à 247 esclaves,
- Caractéristiques fixes:
  - Format de trame, séquence de trame, traitement des erreurs, conditions d'exception, fonctions exécutées.
- Caractéristiques sélectionnables:
  - Support de transmission,



# INS – Ethernet classe 1: ModBus/TCP

## **ModBus:**

- Mode:
  - unicast
  - Diffusion
- Transactions:
  - Mesures, données/informations, erreur/exception.
  - Cycle requête-réponse.

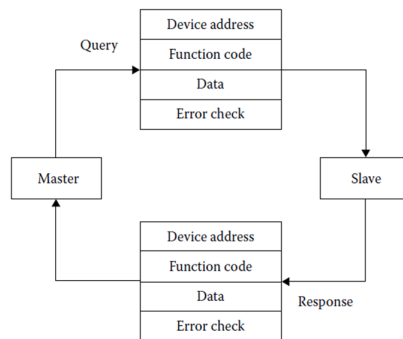


# INS – Ethernet classe 1: ModBus/TCP

## ModBus:

- **Code Fonction:**
  - code un service
  - publics, utilisateur, réservé.
- **Data**
  - registres dans un espace d'adressage.
  - valeur, adresse, plage, ...
  - 4 types données.

- 01 Lecture coil status
- 02 Lecture input status
- 03 lecture holding register
- 04 lecture input register
- 05 écriture d'un coil status
- 06 écriture d'un register
- 15 écriture de plusieurs coils
- 16 écriture de plusieurs register

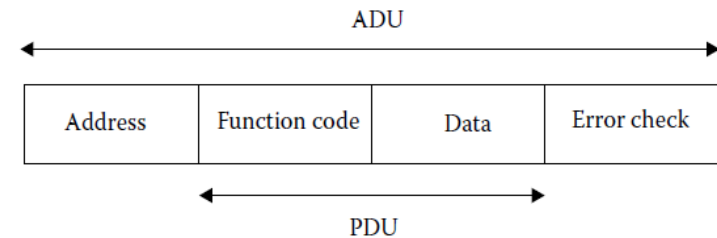


TYPE DE DONNÉE	FONCTION	TAILLE	REGISTRE
Coil	Lecture - Ecriture	1 bit	00001 - 09999
Discrete Input	Lecture uniquement	1 bit	10001 - 19999
Input Register	Lecture uniquement	16 bits	30001 - 39999
Holding Register	Lecture - Ecriture	16 bits	40001 - 49999

# INS – Ethernet classe 1: ModBus/TCP

## ModBus:

- **Mode de transmission**
  - RTU (ModBus-B) et ASCII (ModBus-A).



Start 1 char	Address 2 char	Function code 2 char	Data N char	LRC 2 char	End 2 char
-----------------	-------------------	----------------------------	----------------	---------------	---------------

**ASCII**

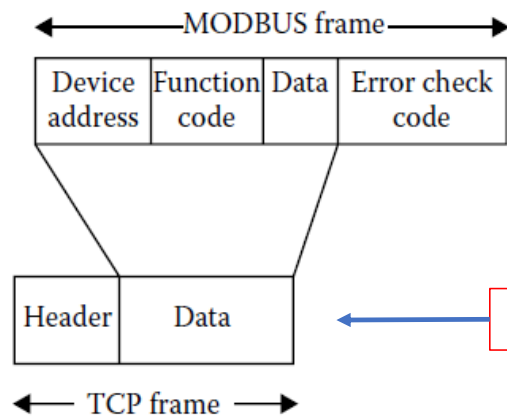
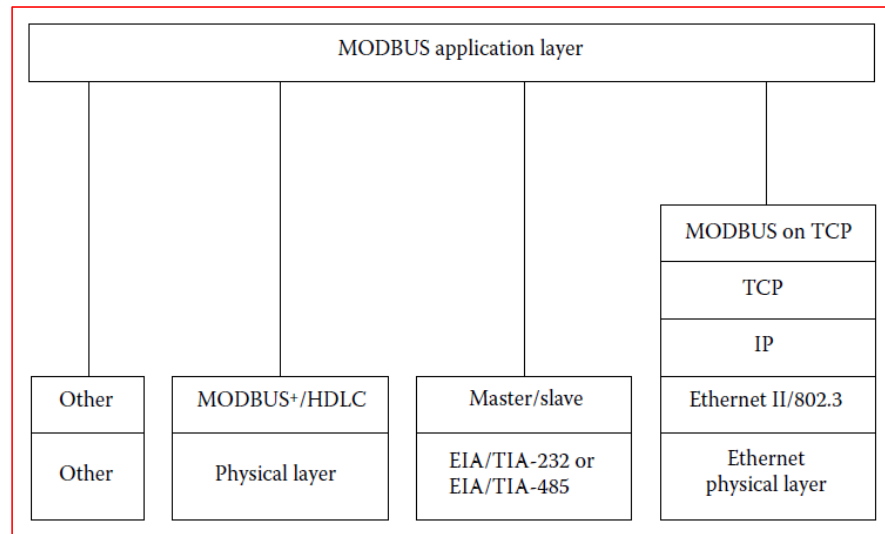
Start 3.5 char times	Address 8 bits	Function code 8 bits	Data N × 8 bits	CRC 16 bits	End 3.5 char times
----------------------------	-------------------	----------------------------	--------------------	----------------	--------------------------

**RTU**

# INS – Ethernet classe 1: ModBus/TCP

## ModBus/TCP:

- Modèle client/serveur
- Port: 502
- Extensions RT par protocole RTPS:
  - publisher-subscriber : transfert de données,
  - CST: transfert d'état.



Encapsulation d'un ADU ModBus dans un segment TCP

# INS – Ethernet classe 1: ModBus/TCP

Requête						
Trans. Id	Prot. Id	Len	Un Id	FC	Data	
					Start addr	Numb Points
00 01	00 00	00 06	FF	01	00 00	00 04

Réponse						
					Byte Count	Data
00 01	00 00	00 04	FF	01	01	0A

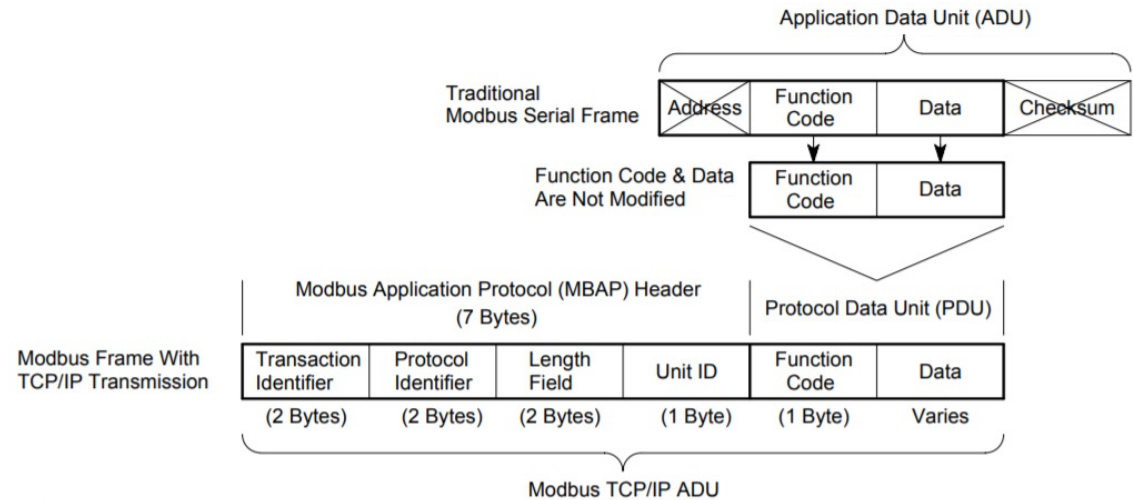
lire état Coils

Requête						
Trans. Id	Prot. Id	Len	Un Id	FC	Data	
					Start addr	Numb Points
00 01	00 00	00 06	FF	03	00 05	00 03

Réponse						
					Byte Count	Data
00 01	00 00	00 08	FF	03	06	3A 98 13 88 00 C8

lire état Holding Registers



TCP/IP/MAC Encapsulation (Explicit Message)

Ethernet Header (14 Bytes)	IP Header (20 Bytes)	TCP Header (20 Bytes)		C R C
----------------------------	----------------------	-----------------------	--	-------------



# INS – Ethernet classe 1: ModBus/TCP

