

Ethernet Industriel

EtherNet/IP[®]

EtherCAT[®]

PROFI
INDUSTRIAL ETHERNET
NET



Objectifs

- Comprendre le protocole Ethernet
 - Comprendre le modèle TCP/IP
 - Comprendre le modèle UDP
 - Identifier les réseaux Profinet
 - Identifier les réseaux EtherNet/IP
 - Identifier les réseaux EtherCAT
- ☐ **Prérequis:**
- Auto1, Auto2
 - CMSE2 et CMSE3 2
- ☐ **public cible:**
- 3^{ème} année Génie industriel et maintenance

Ethernet (norme IEEE 802.3)

Le **IEEE** (Institute of Electrical and Electronics Engineers) **802.3** fait référence à un ensemble de protocoles qui définissent les réseaux locaux (LAN). Il comprend l'exploitation , la bande passante et des connexions de périphériques dans un environnement LAN.

La norme **LAN IEEE 802.3 Opérations** définit deux opérations de LAN. Le premier est le mode **half- duplex**, qui peut recevoir et envoyer des données **d'un à la fois**. Le second mode de fonctionnement (et le plus populaire) est le mode **full-duplex**, qui peut envoyer et recevoir des données **simultanément**.

Quatre débits sont définis dans la norme 802.3 . Il s'agit de la vitesse à laquelle les données peuvent être transmises entre réseaux connectés par des câbles physiques.

1. **l' Ethernet**, qui a une vitesse de **10Mbps** .
2. le **Fast Ethernet** appelé le protocole **IEEE 802.3u** , qui a une vitesse de **100 Mbps**.
3. le **Gigabit Ethernet** ou **IEEE 802.3z** , qui a une vitesse de **1000 Mbps** ou **1 Gbps**
4. le **10 Gbps Ethernet** ou **802.3ae** , avec une vitesse de **10 Gbps** .

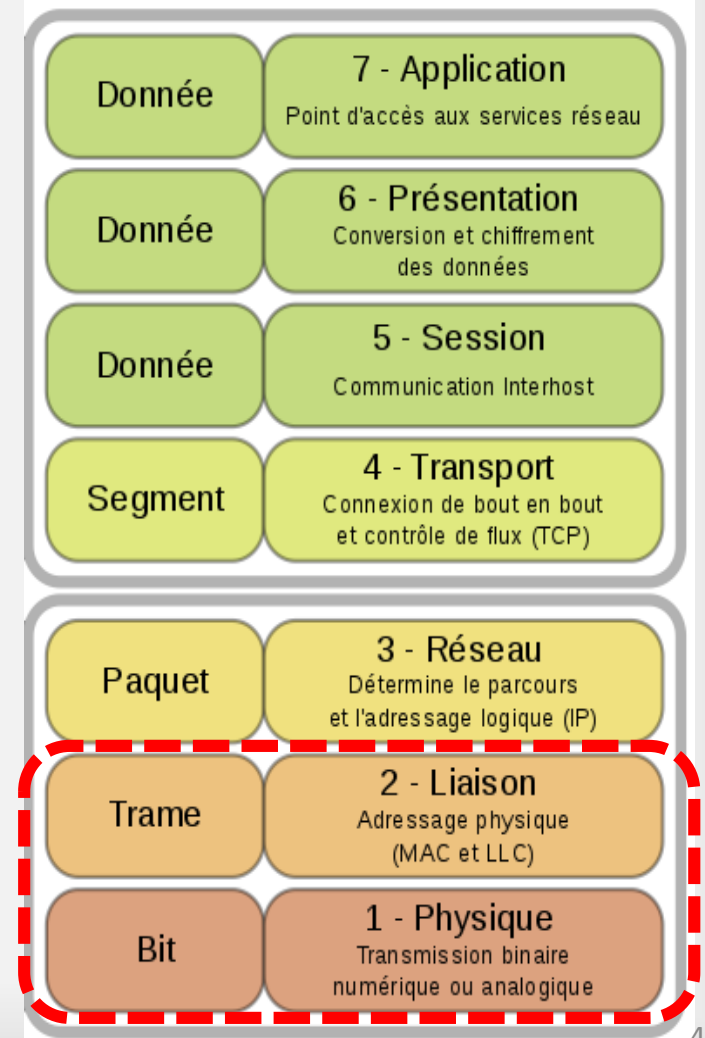
Protocole Ethernet

Ethernet est basé sur :

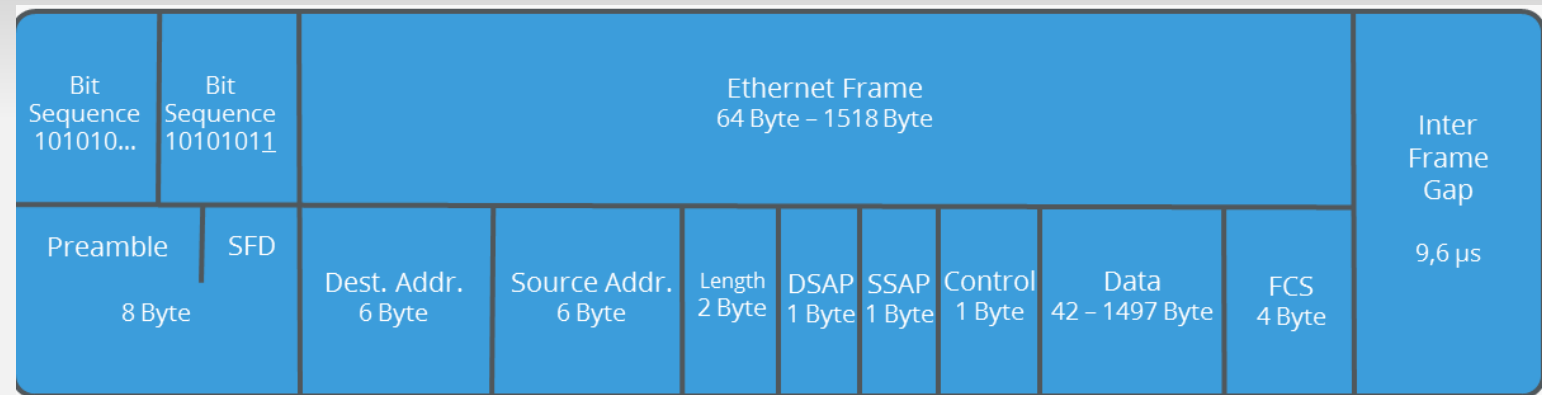
- un **medium** de communication **partagé (trame)**
- un mécanisme de **détection de collision**
- une **retransmission automatique** des **trames** après collision
- Un système d'**adressage univoque** sur **6 octets**
- **4 octets** de CRC pour détecter les données corrompues

Les approches pour réaliser un système temps réel :

- Une charge de bus faible (suffisant pour des exigences “temps réel” faible → déjà possible avec de l’Ethernet Standard
- Un arbitrage centralisé d’ accès au média pour éviter les collisions
- Sans collision “Ethernet commuté”
- Une synchronisation précise et décentralisée de l’horloge.



☐ Trame Ethernet (Ethernet frame)



COMPOSANT	TAILLE	FONCTION
Préambule	7 octets	Synchronisation des destinataires
Start Frame Delimiter (SFD)	1 octet	Séquence de bits qui introduit la trame
Adresse de destination (MAC)	6 octets	Adresse matérielle de l'adaptateur réseau cible
Adresse source (MAC)	6 octets	Adresse matérielle de l'adaptateur réseau source
Longueur	2 octets	Informations sur la longueur de l'ensemble de données
Destination Service Access Point (DSAP)	1 octet	Adresse individuelle du point d'accès au service visé
Source Service Access Point (SSAP)	1 octet	Adresse source de l'appareil émetteur
Control	1 octet	Définit le cadre LLC (lien logique)
Données	44–1.500 octets (les limites dépendent de la structure des trames)	Données à transmettre
Frame Check Sequence (FCS)	4 octets	Somme de contrôle qui calcule la trame entière
Inter Frame Gap (IFS)	-	Pause de 9.6 μs entre les transmissions

Adresse IP

Les paramètres **IP (Internet Protocol)** s'affichent si les appareils aptes à la communication prennent en charge le protocole TCP/IP.

L'adresse IP se compose de **4 nombres décimaux** situés dans la plage de **0 à 255**. Ces nombres décimaux sont séparés par un point.

Exemple : 140.80.0.2

L'adresse IP se compose :

- de l'adresse du (sous-) réseau et
- de l'adresse de l'abonné (aussi appelé hôte ou nœud de réseau)
- Masque de sous-réseau

Le masque de sous-réseau sépare ces deux adresses. Il détermine quelle partie de l'adresse IP désigne le réseau et quelle partie de l'adresse IP désigne l'abonné. Les bits du masque de sous-réseau **mis à 1** déterminent la partie du **réseau** de l'adresse IP.

❑ Exemple :140.80.0.2

Masque de sous-réseau : **255.255.0.0 = 11111111.11111111.00000000.00000000**

Dans l'exemple de l'adresse IP ci-dessus, le masque de sous-réseau affiché a la signification suivante :

les 2 premiers octets de l'adresse IP déterminent le masque de sous-réseau – soit **140.80**. Les deux derniers octets désignent l'abonné – soit **0.2**.

D'une manière générale :

- L'adresse de réseau résulte de la combinaison **ET** de **l'adresse IP et du masque de sous-réseau**.
- L'adresse de l'abonné résulte de la combinaison **NON ET** de **l'adresse IP et du masque de sous-réseau**.

- **Relation entre l'adresse IP et le masque de sous-réseau par défaut**
- Il existe une convention pour ce qui est de l'affectation des plages d'adresses IP et de ce que l'on appelle les "masques de sous-réseau par défaut". Le premier nombre décimal de l'adresse IP (de gauche) détermine la structure du masque de sous-réseau par défaut pour ce qui est du nombre de valeurs "1" (binaires) comme suit :

Adresse IP (déc.)	Adresse IP (bin.)	Classe d'adresse	Masque de sous-réseau par défaut
0 à 126	0xxxxxxx.xxxxxxxx....	A	255.0.0.0
128 à 191	10xxxxxx.xxxxxxxx...	B	255.255.0.0
192 à 223	110xxxxx.xxxxxxxx...	C	255.255.255.0

- **Routeur**
- Les routeurs ont pour tâche de connecter les sous-réseaux. Pour pouvoir envoyer un datagramme IP à un autre réseau, il faut d'abord le transmettre à un routeur. Pour que cela soit possible, vous devez entrer l'adresse du routeur pour chaque partenaire du sous-réseau.

IEEE 802.3

Ethernet

<https://www.youtube.com/watch?v=HLziLmaYsO0>

REALPARS

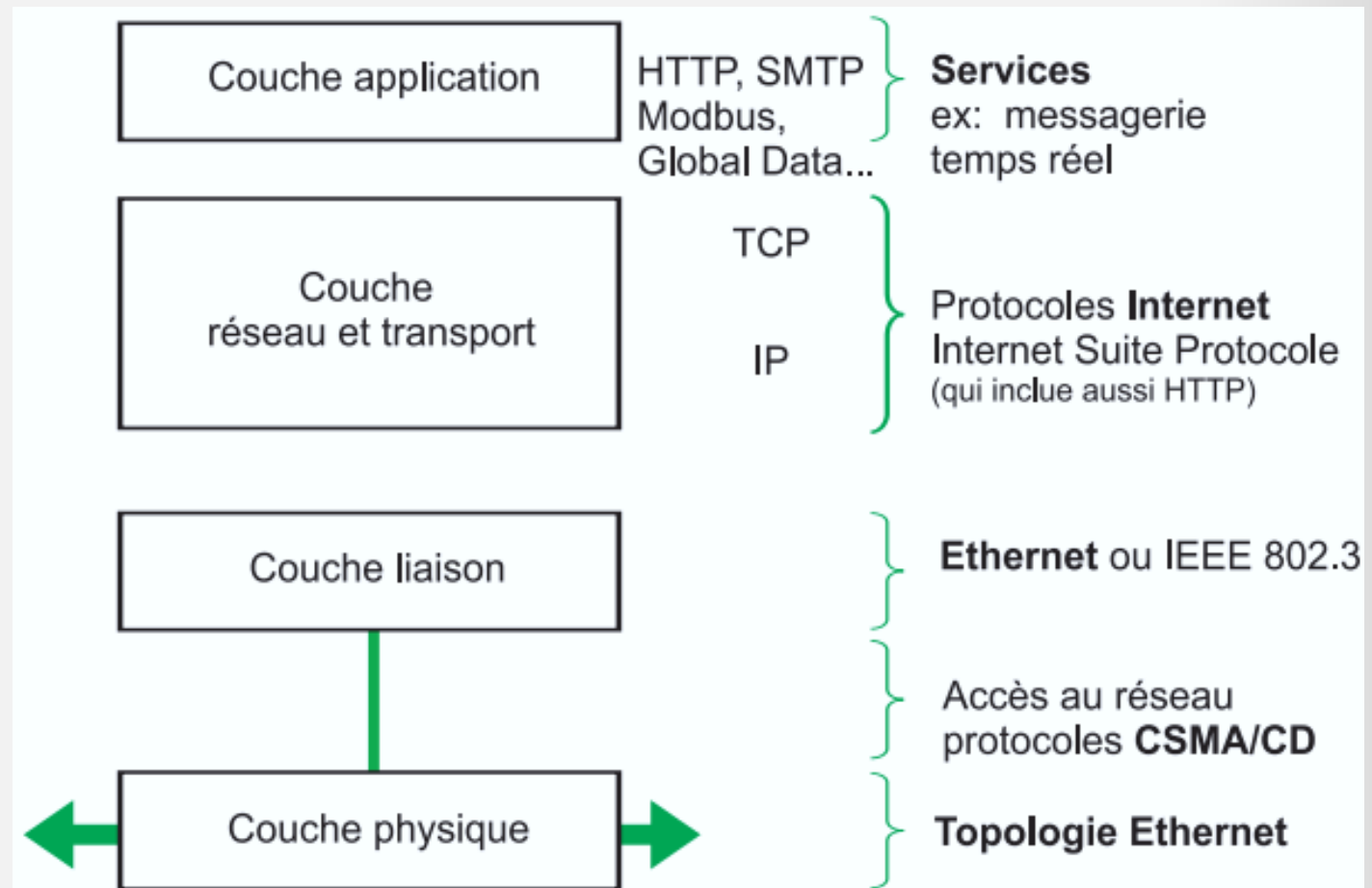
Vue d'ensemble de la technologie Ethernet

Ethernet sépare les fonctions de la couche de **liaison** de données en **deux sous-couches** distinctes :

❑ **Sous-couche Logical Link Control (LLC)** : Défini dans la norme 802.2

La sous-couche LLC gère la communication entre la couche réseau et la sous-couche MAC. En général, LLC fournit un moyen d'identifier le protocole qui est transféré de la couche de liaison de données à la couche réseau.

De cette façon, les champs de la sous-couche MAC ne sont pas renseignés avec des informations de type protocole.



❑ **Sous-couche MAC (Media Access Control)** : Défini dans la norme 802.3

La sous-couche MAC a deux responsabilités principales :

- **Encapsulation des données** : Inclus ici est l'assemblage de trame avant la transmission, l'analyse de trame lors de la réception d'une trame, l'adressage MAC de la couche de liaison de données, et la détection des erreurs.
- **Contrôle d'accès aux médias** : Comme Ethernet est un média partagé et que tous les périphériques peuvent transmettre à tout moment, l'accès au média est contrôlé par une méthode appelée Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD)(**Annexe 1**) lorsqu'il fonctionne en mode half-duplex.

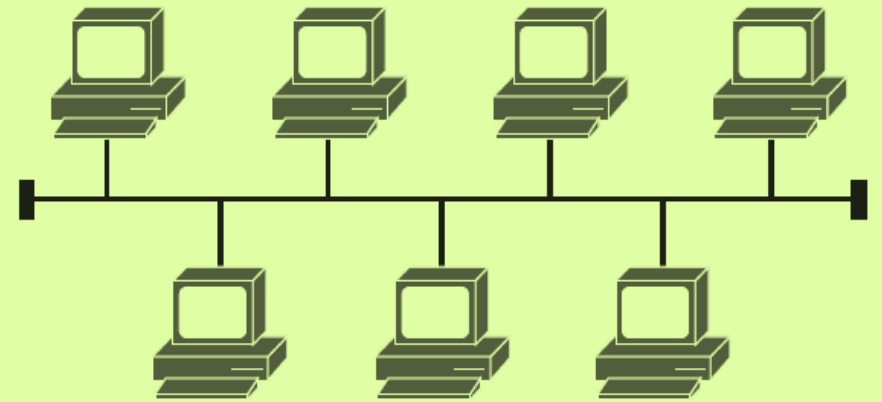
Au niveau de la couche physique, Ethernet spécifie et met en œuvre des schémas de codage et de décodage qui permettent de transporter les bits de trame sous forme de signaux à la fois sur des câbles en cuivre UTP (paire torsadée non blindée) et des câbles en fibre optique. Dans les premières implémentations, Ethernet utilisait le câblage coaxial.

Topologie des réseaux Ethernet

La série de câbles crée un circuit électrique, appelé bus, qui est partagé entre tous les appareils sur le réseau Ethernet.

Lorsqu'un ordinateur veut envoyer des bits à un autre ordinateur sur le bus, il envoie un signal électrique et l'électricité se propage à tous les appareils sur le réseau Ethernet.

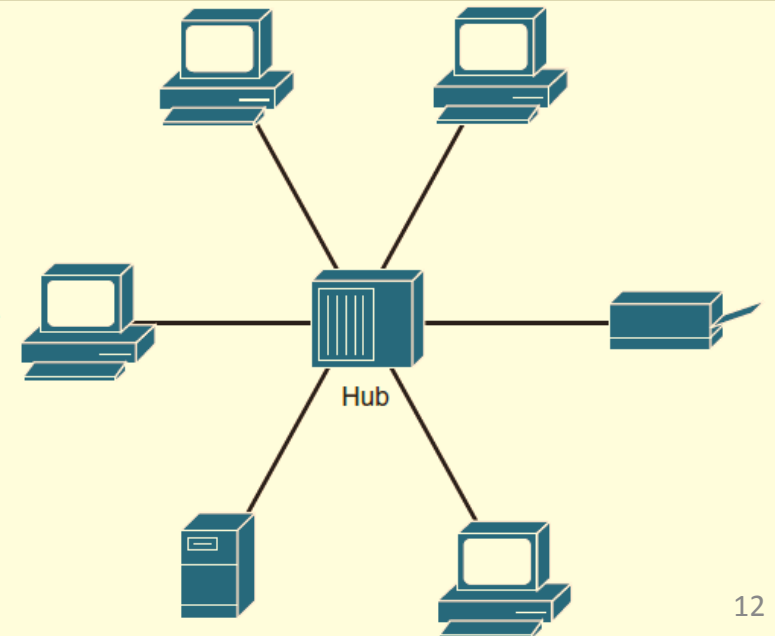
Topologie
Physique: bus
Logique: bus



Avec le changement de média en UTP et l'introduction des hubs, les topologies physiques Ethernet ont migré vers une étoile.

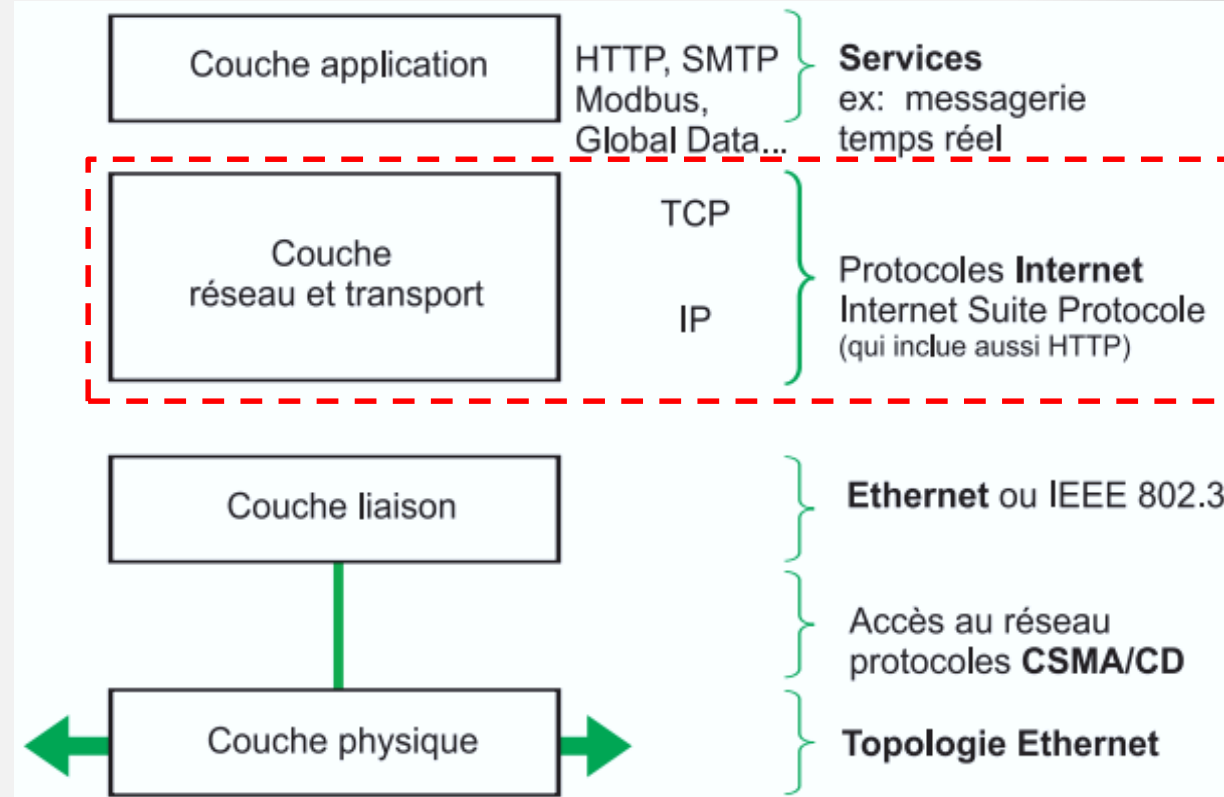
Quel que soit le changement de topologie physique d'un bus en étoile, les hubs fonctionnent logiquement de manière similaire à une topologie de bus traditionnelle et nécessitent l'utilisation du **CSMA/CD**.

Topologie
physique: étoile
logique: bus



Protocole internet TCP/IP

- Le protocole **TCP / IP** (**protocole internet** ou **suite internet**) permet l'échange de blocs de données binaires entre ordinateurs. C'est également une norme mondiale qui sert de base au *World Wide Web*.
- La fonction principale de TCP est de s'assurer que tous les paquets de données sont reçus correctement, tandis qu'IP s'assure que les messages sont correctement adressés et routés.
- Notez que la combinaison TCP / IP est simplement un **protocole de transport**, et ne définit pas ce que les données signifient ou comment les données doivent être interprétées (c'est le travail du protocole d'application, Modbus ou Profinet).

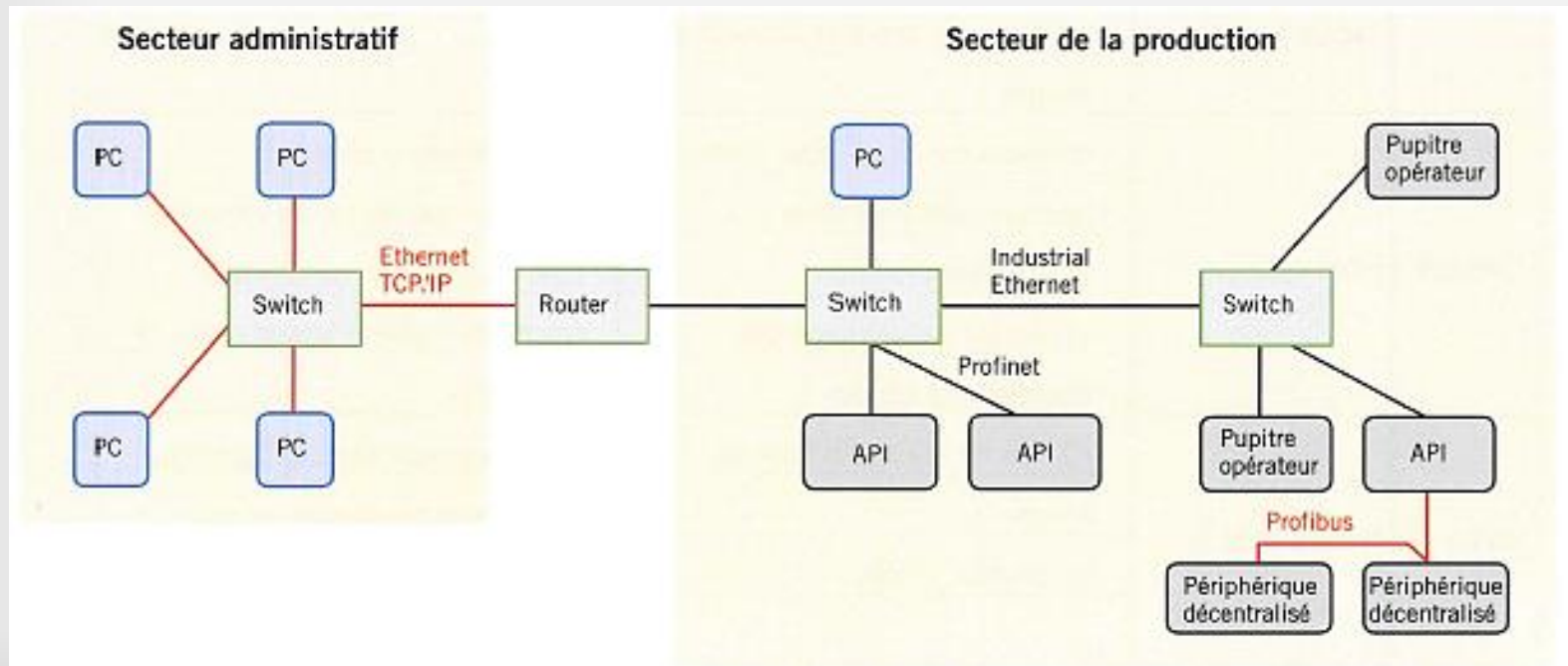


Protocole UDP

- Le **User Datagram Protocol** (UDP, en français protocole de datagramme utilisateur) est un des principaux protocoles de télécommunication utilisés par Internet. Il fait partie de la couche transport du modèle OSI, **quatrième couche** de ce modèle, comme TCP.
- Le rôle de ce protocole est de permettre la transmission de données (sous forme de datagrammes) de manière très simple entre deux entités, chacune étant définie par une adresse IP et un numéro de port. Aucune communication préalable n'est requise pour établir la connexion, au contraire de TCP. UDP utilise un mode de transmission sans connexion.
- UDP est un protocole de la couche de transport documenté dans la **RFC 768**. Il ne fournit pas de garantie au protocole de la couche supérieure quant à la livraison du message. De plus, la couche UDP ne retient pas d'information quant à l'état des messages UDP une fois envoyés. Pour ces raisons, on désigne UDP comme un protocole de transmission non fiable.

PROFINET

Profinet représente une extension d'Ethernet TCP / IP et permet de communiquer jusqu'au niveau du terrain. Complété d'un protocole industriel, Ethernet classique a fait l'objet de nouveaux développements qui ont abouti au protocole PROFINET (**PRO**cess **FI**eld **ETHERNET**). Les données des applications en temps réel standard sont transférées avec le protocole standard TCP / IP. Grâce au protocole supplémentaire (protocole industriel), les données d'entrée et de sortie peuvent être traitées beaucoup plus rapidement, le Profinet est de ce fait capable de traiter les données en temps réel.



- Exemple d'un câblage TCP / IP, Industriel Ethernet, Profinet et Profibus



Dans le contexte de la ***Totally Integrated Automation (TIA)***, PROFINET est le prolongement cohérent de **PROFIBUS DP**, du bus de terrain établi et **Industrial Ethernet**, du bus de communication au niveau cellule.

La norme PROFINET a les objectifs suivants :

- **Standard Ethernet ouvert**, conçu pour l'automatisation sur la base de Industrial Ethernet :

Les composants Industrial Ethernet et Ethernet standard sont compatibles entre eux, toutefois les appareils Industrial Ethernet sont plus robustes et donc mieux adaptés à un environnement industriel (température, immunité aux perturbations, etc.).

- **Utilisation de TCP/IP** et de standards des NTIC (Nouvelles Technologie d'Information et de Communication),
- Automatisation avec **Ethernet temps réel** et intégration sans faille de systèmes de bus de terrain.

PROFINET précise les fonctions servant à réaliser une solution d'automatisation globale, de l'installation du réseau au diagnostic sur le Web. Grâce à sa **structure modulaire**, il sera très facile de lui ajouter des fonctions à l'avenir.

Il en résulte les avantages suivants :

- Flexibilité grâce à l'exploitation d'Ethernet et des standards éprouvés des NTIC
- Économies au niveau de l'ingénierie et de la mise en service grâce à la modularisation
- Rentabilisation des investissements en matériel et applications PROFIBUS
- Plus rapide que les bus spécifiques actuels dans le domaine du Motion Control et vaste gamme de produits disponibles sur le marché.

□ **PROFINET IO**

Dans le cadre de PROFINET, PROFINET IO est un concept de communication pour la réalisation d'applications modulaires, décentralisées. PROFINET IO permet de réaliser des projets d'automatisation comme avec PROFIBUS.

- **PROFINET IO-Controller**

Appareil qui permet d'adresser aux périphériques IO connectés. Ceci signifie : le contrôleur IO échange des signaux d'entrée et de sortie avec des appareils de terrain qui lui sont affectés. Le contrôleur IO est souvent l'automate dans lequel s'exécute le programme d'automatisation.

- **PROFINET IO-Device**

Appareil de terrain décentralisé affecté à un contrôleur IO (par ex. IO distribuées, terminaux de distributeurs, convertisseurs de fréquence, commutateurs).

- **PROFINET IO-Supervisor**

PG/PC ou appareil IHM de mise en service et de diagnostic.

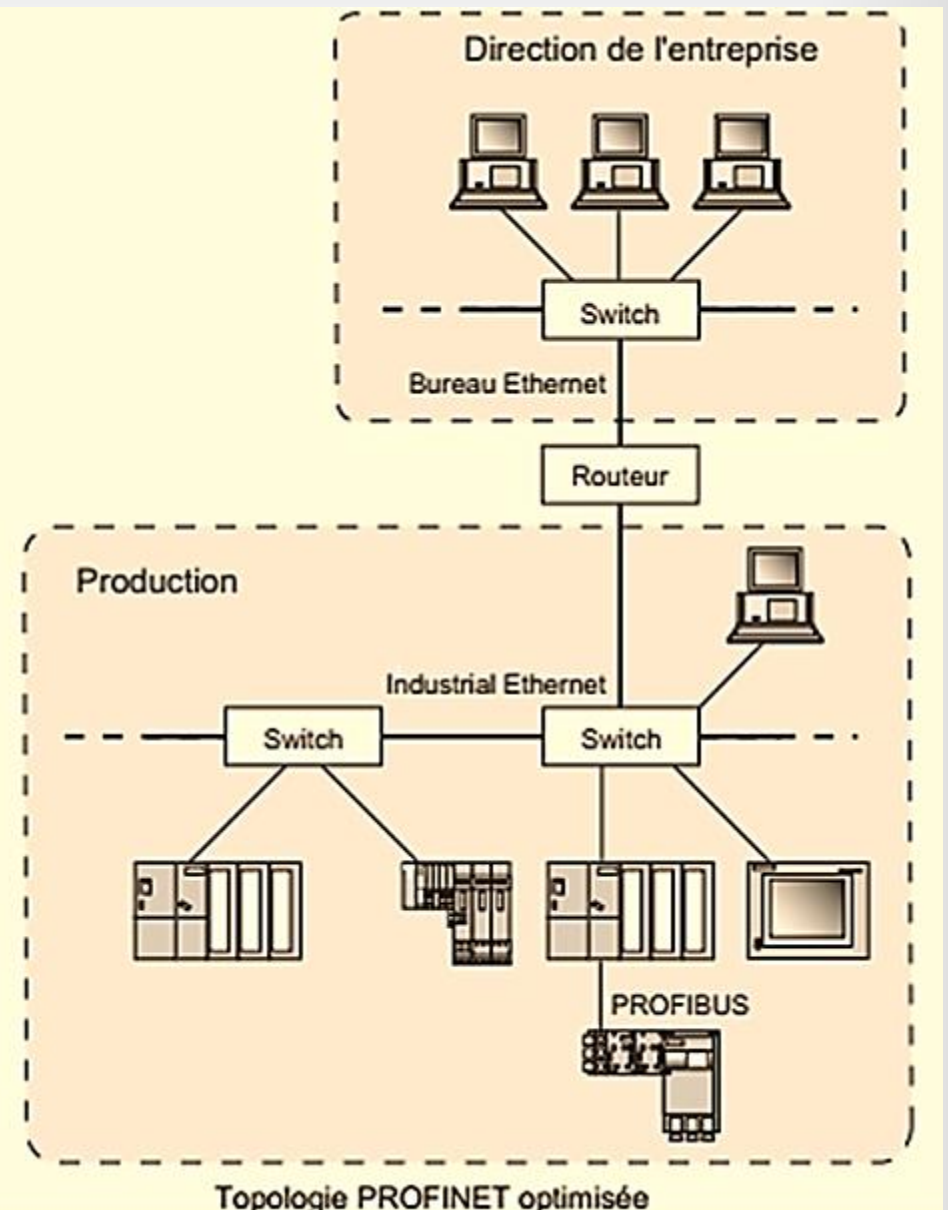
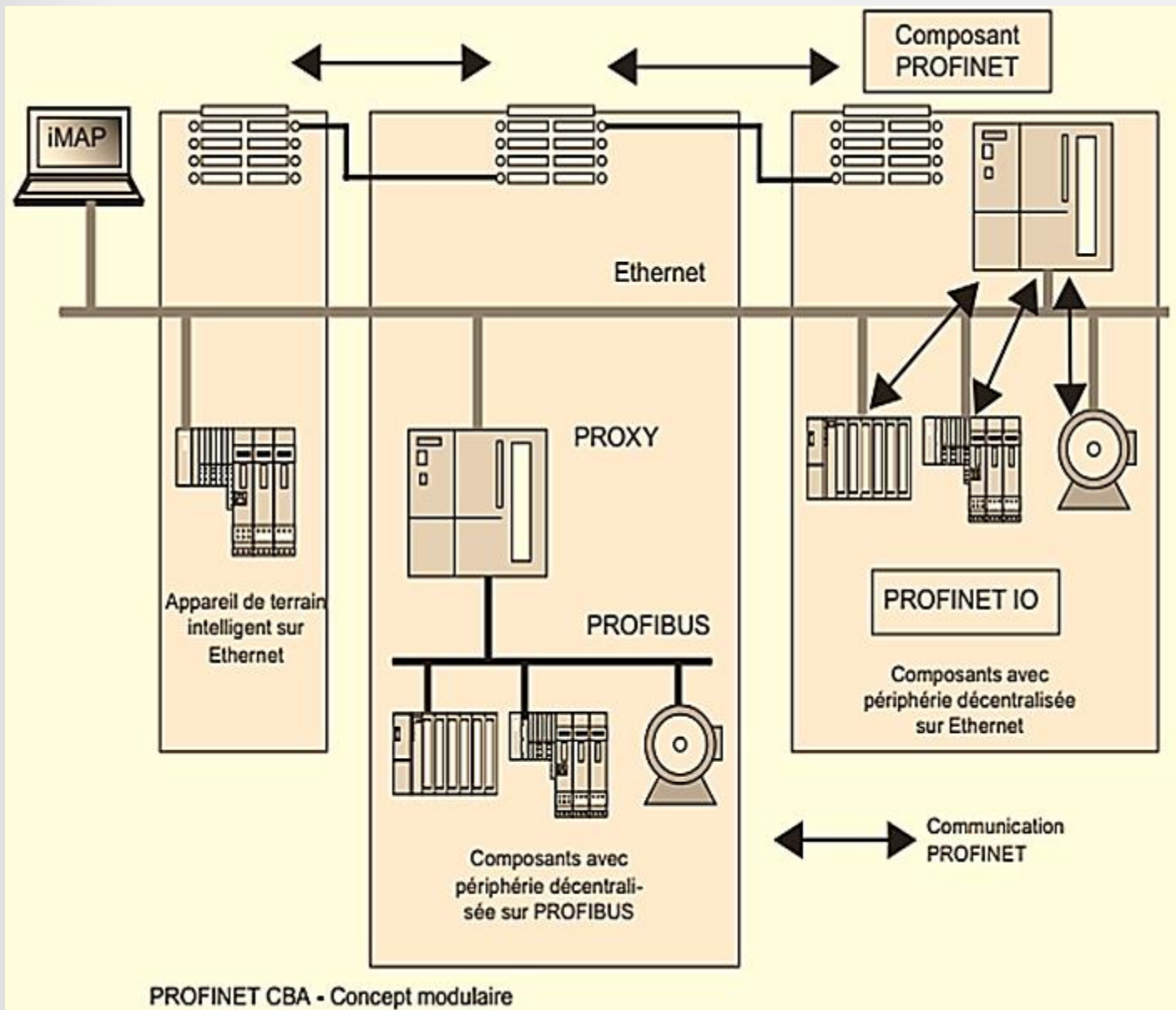
- **PROFINET IO-System**

Contrôleur PROFINET IO avec les périphériques PROFINET IO qui lui sont affectés.

□ PROFINET CBA

Dans le contexte de PROFINET, PROFINET CBA (Component Based Automation) est un concept d'automatisation renforçant les points suivants :

- Réalisation d'applications modulaires
- communication machine-machine



EtherNet/IP[®]

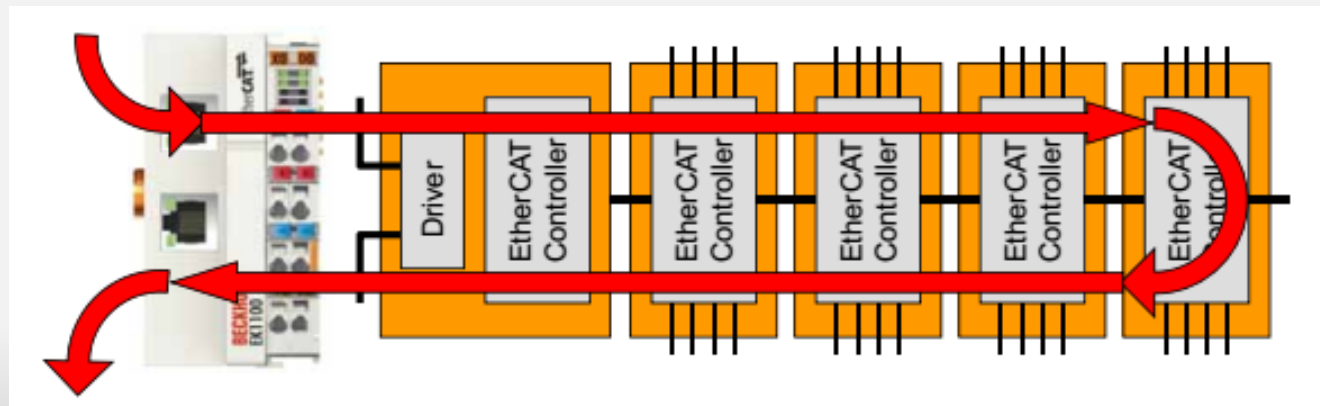
- **EtherNet/IP (IP = Industrial Protocol)** est un protocole de réseau industriel qui adapte le **Common Industrial Protocol** au standard Ethernet. EtherNet/IP est l'un des principaux protocoles industriels aux États-Unis et est largement utilisé dans une gamme d'industries, notamment les usines, les et les procédés hybrides.
- EtherNet/IP utilise les deux collections de normes Ethernet les plus largement déployées - la suite de protocoles Internet et IEEE 802.3 - pour définir les caractéristiques et les fonctions de son transport, son réseau, sa liaison de données et ses couches physiques.
- EtherNet/IP fonctionne au niveau session et au-dessus (niveau 5, 6 et 7) du modèle OSI. CIP utilise sa conception orientée objet pour fournir à EtherNet/IP les services et les profils d'appareils nécessaires aux applications de contrôle en temps réel et pour promouvoir la mise en œuvre cohérente des fonctions d'automatisation dans un écosystème diversifié de produits. De plus, EtherNet/IP adapte les éléments clés des capacités et services standard d'Ethernet au cadre de modèle d'objet CIP, comme le protocole **UDP** (User Datagram Protocol), que EtherNet/IP utilise pour **transporter** les messages d'E/S.

EtherNet/IP

<https://www.youtube.com/watch?v=mm-NHrLtRWI&t=12s>

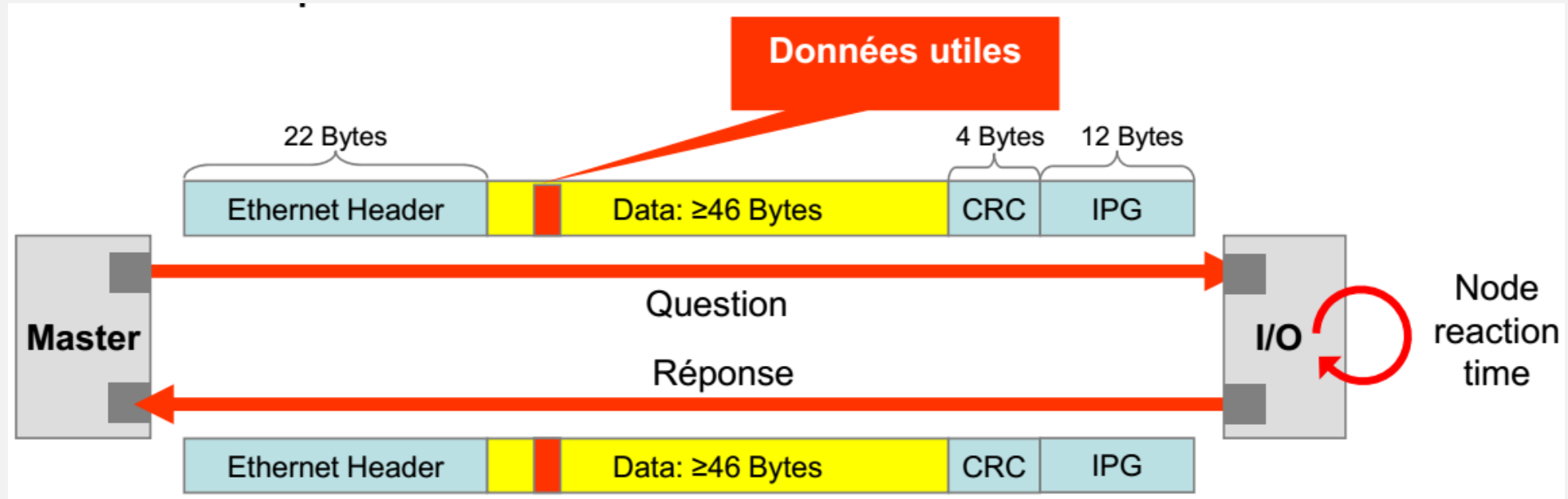
REALPARS

- **EtherCAT** (*Ethernet for Control Automation Technology*) est un système de bus de terrain basé sur Ethernet, inventé par **Beckhoff Automation**. Le protocole est normalisé dans la norme **CEI 61158** et convient aux exigences de calcul en **temps réel** dur et souple en technologie d'automatisation.
- L'objectif lors du développement de EtherCAT était d'appliquer Ethernet aux applications d'automatisation nécessitant des **temps de mise à jour des données courts** (également appelés **temps de cycle $\leq 100 \mu\text{s}$**) avec une faible gigue (*jitter*) de communication (à des fins de synchronisation précise; $\leq 1 \mu\text{s}$) et des coûts matériels réduits



Utilisation de la bande passante d'Ethernet pour les E/S et les variateurs:

- Une trame Ethernet doit faire au moins 84 Octets sinon, elle est complétée



Temps de mise à jour:

- 256 E/S digitales en 11 μ s
- **1000 E/S** digitales sur 100 noeuds en **30 μ s** = 0.03 ms
- 200 E/S analogiques (16 bits) en 50 μ s = 20 kHz
- **100 Axes** (8 octets In + Out) en **100 μ s** = 0.1 ms
- 12000 E/S digitales in 350 μ s

EtherCAT

Ethernet for Control Automation Technology

<https://www.youtube.com/watch?v=tYAl2jkaB8Q&t=16s>

REALPARS

Annexe 1 : CSMA/CD

L'algorithme **CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)** définit comment accéder à un bus logique Ethernet. La logique **CSMA/CD** aide à prévenir les collisions et définit également comment agir en cas de collision. L'algorithme CSMA/CD fonctionne ainsi:

1. Un appareil avec une trame à envoyer écoute jusqu'à ce que l'Ethernet ne soit pas occupé.
2. Lorsque l'Ethernet n'est pas occupé, le ou les expéditeurs commencent à envoyer la trame.
3. L'expéditeur(s) écoute(nt) pour s'assurer qu'il n'y a pas de collision.
4. En cas de collision, les dispositifs qui envoyaient une trame envoient chacun un signal de brouillage pour s'assurer que toutes les stations reconnaissent la collision.
5. Lorsque le signal de brouillage est entendu, chaque expéditeur randomise une temporisation et attend aussi longtemps avant d'essayer d'envoyer à nouveau la trame en collision.
6. A l'expiration de chaque temporisateur aléatoire, le processus recommence depuis le début.

Lorsque CSMA/CD est en vigueur, la carte d'interface réseau (NIC) d'un appareil fonctionne en mode semi-duplex, qu'il s'agisse d'envoyer ou de recevoir des trames.

CSMA/CD est désactivé lorsqu'une carte réseau détecte automatiquement qu'elle peut fonctionner ou est configurée manuellement pour fonctionner en mode full-duplex (duplex). En mode full-duplex, une carte réseau peut envoyer et recevoir simultanément.

Annexe 2 : Concentrateur, Commutateur et Routeur

Concentrateur (hub): Le **hub** (concentrateur) est le matériel réseau le plus basique. Il est utilisé pour un réseau local avec un nombre très limité de machines. Il n'est ni plus ni moins qu'une 'multiprise RJ45' qui amplifie le signal réseau (base 10/100).



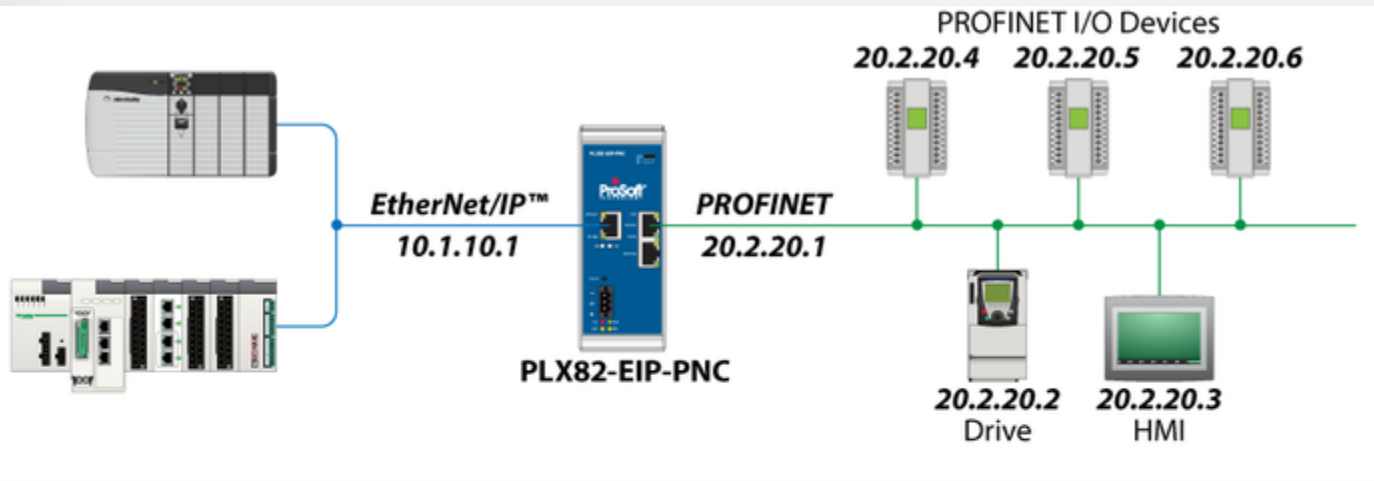
Commutateur (switch): Le **switch** (ou commutateur) travaille lui sur les deux premières couches du modèle OSI, c'est-à-dire qu'il distribue les données à chaque machine destinataire, alors que le hub envoie toutes les données à toutes machines qui répondent. Conçu pour travailler sur des réseaux, avec un nombre de machines légèrement plus élevé que le hub, il élimine les collisions de paquets éventuelles.



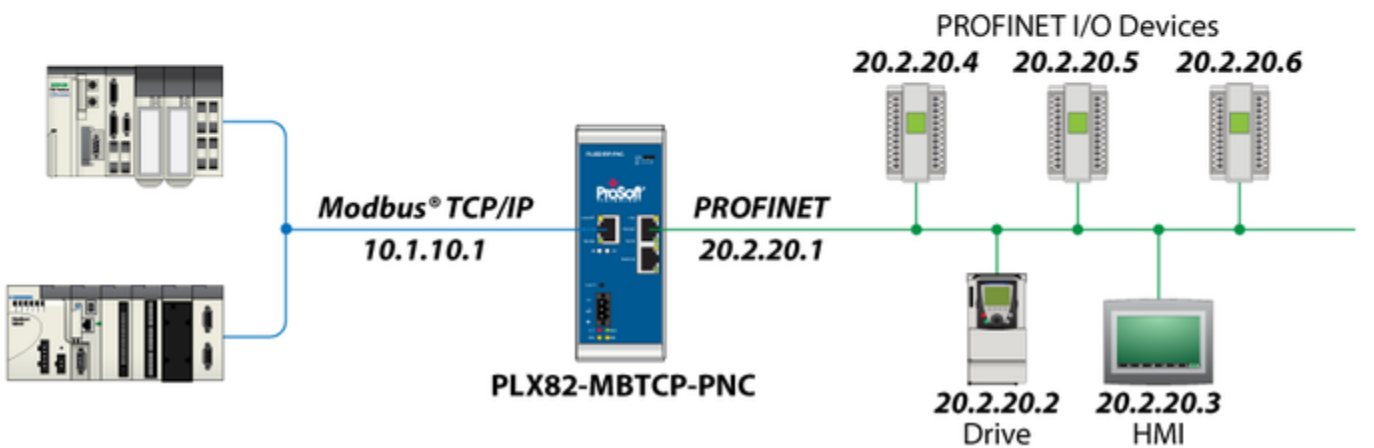
Le Routeur: autorise l'utilisation de plusieurs classes d'adresses IP au sein d'un même réseau. Il permet ainsi la création de sous-réseaux. Il est utilisé dans les plus grandes installations, où il est nécessaire (notamment pour des raisons de sécurité et de simplicité) de constituer plusieurs sous-réseaux.



Annexe 3 : Passerelle Ethernet (Gateways/bridges)



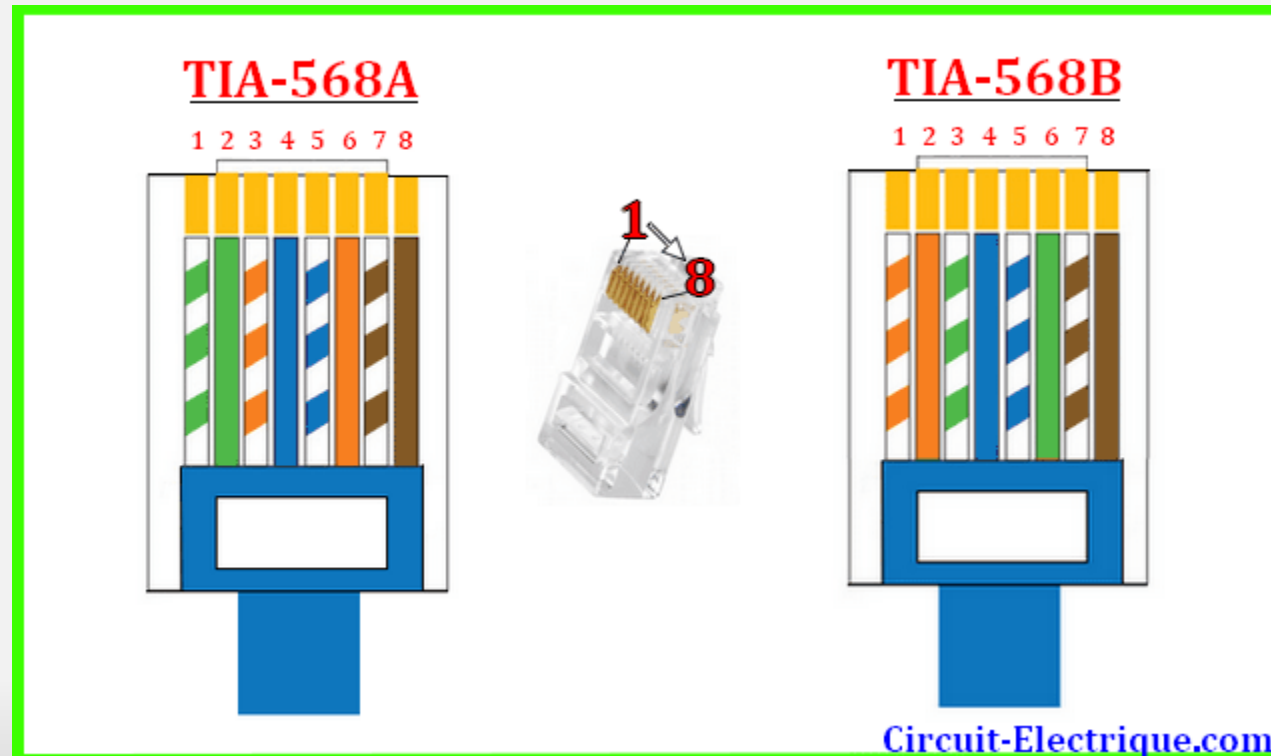
PLX82-EIP-PNC
EtherNet/IP to PROFINET
Controller Gateway



PLX82-MBTCP-PNC
Modbus TCP/IP to
PROFINET Controller
Gateway

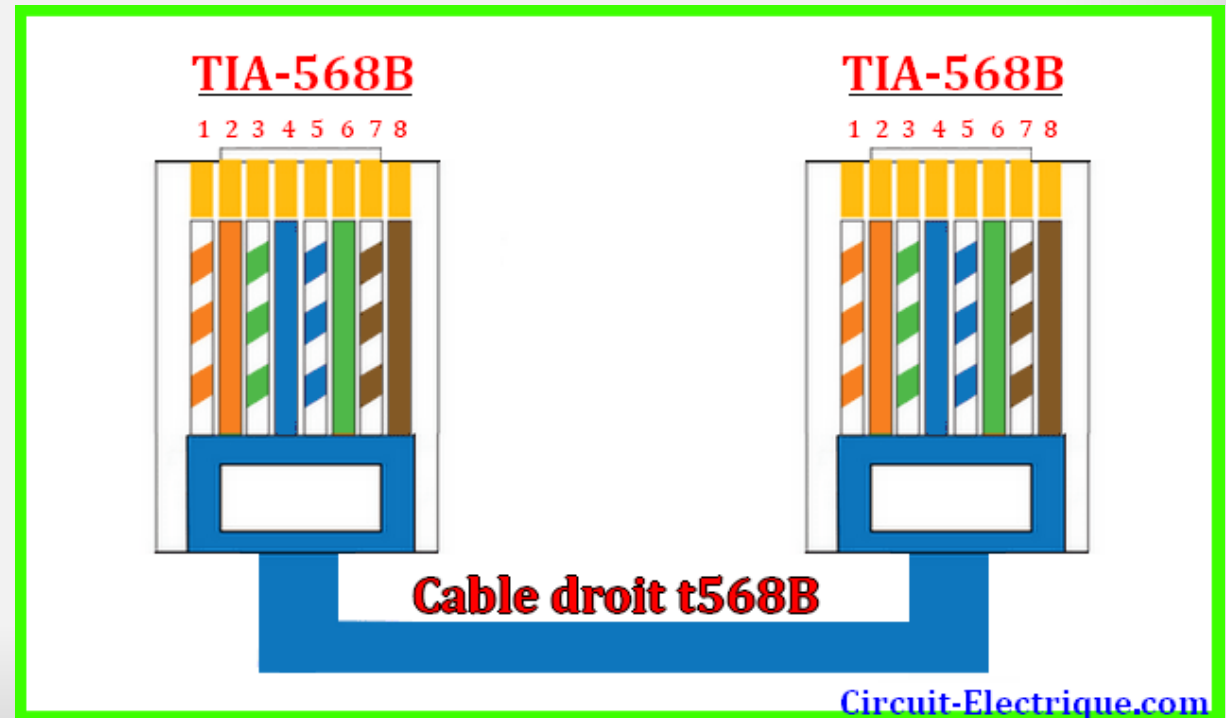
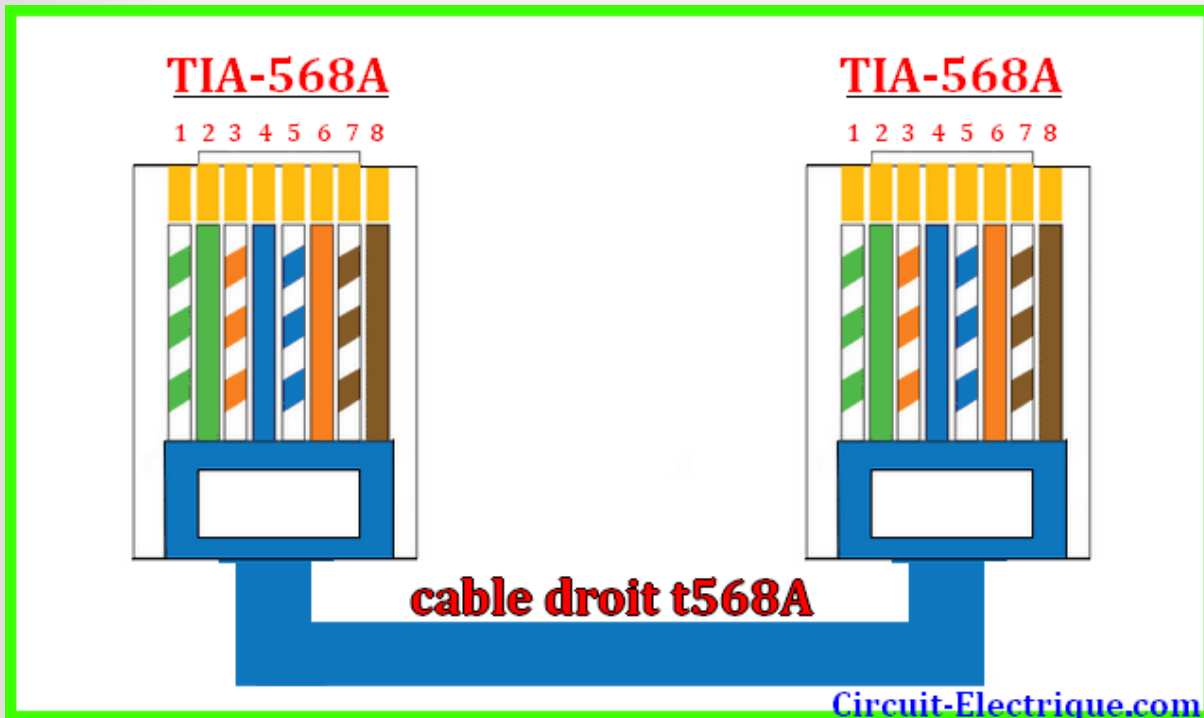
Annexe 4 : Branchement Prise Rj45 Norme a ou b

- En ce qui concerne **les prises RJ45**, on note plusieurs normes de câblages, dont la **T568A** et la **T568B**. La norme T568B est généralement utilisée dans le domaine professionnel tandis qu'on fait usage de la norme T568A dans le secteur résidentiel.
- Couleur fil prise RJ45 norme TIA/EIA-568A et TIA/EIA-568B :



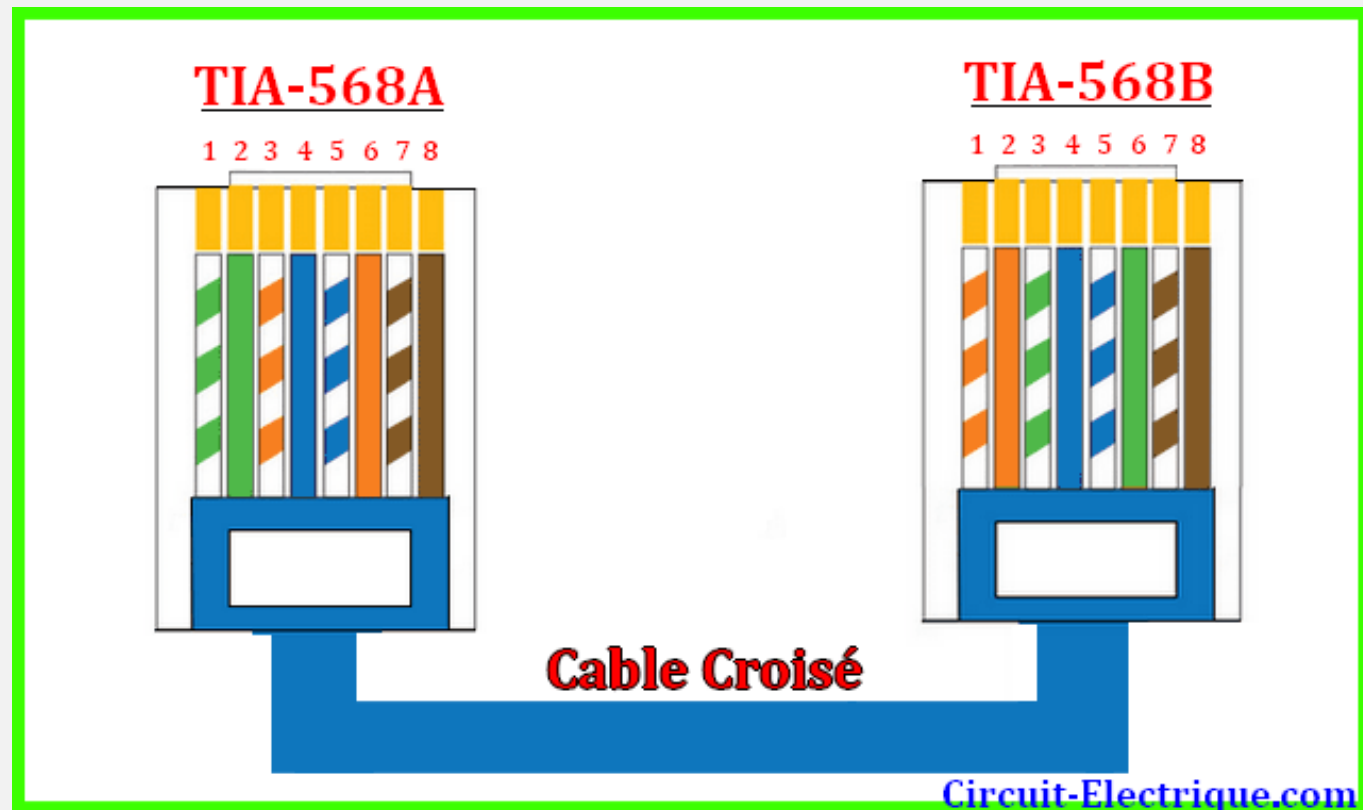
- **Différence entre le câble droit et le câble croisé**
- On distingue généralement deux types de câbles RJ45. Il s'agit des câbles RJ45 croisés et des câbles RJ45 droits.
- lorsqu'on branche un poste de travail dans un concentrateur (hub) ou un commutateur (switch), un **câble droit** doit être utilisé.

Cable droit – code Couleur fil RJ45 ou branchement droit norme EIA-568A et EIA-568B :



- **Code Couleur fil prise RJ45 branchement croisé :**

Lorsqu'on doit brancher deux postes de travail ensemble, un **câble croisé** doit être utilisé. Un câble RJ45 croisé possède 2 embouts différents TIA-568A et TIA-568B:



Références bibliographique

- <https://www.youtube.com/user/ParsicAutomation/featured>
- <https://www.automation-sense.com>
- <https://coursreseaux.com/protocole-ethernet/https://coursr>
- <https://coursreseaux.com/protocole-ethernet/>
- Manuel système, SIMATIC PROFINET Description du système.
- Guide des solutions d'automatisme/ Schneider Electric
- <https://www.supinfo.com/articles/single/4472-modele-osi>
- SIEMENS TIA PORTAL13_help
- EtherCAT – Le réseau Ethernet. EtherCAT Technology Group
- <https://circuit-electrique.com/branchement-prise-rj45/>
- <https://www.prosoft-technology.com/Products/Gateways/>