

**Master Electronique, énergie électrique, automatique
Parcours Microélectronique Intégration des Systèmes Temps Réels
Embarqués (MISTRE)**

Supervision et réseaux en contexte industriel



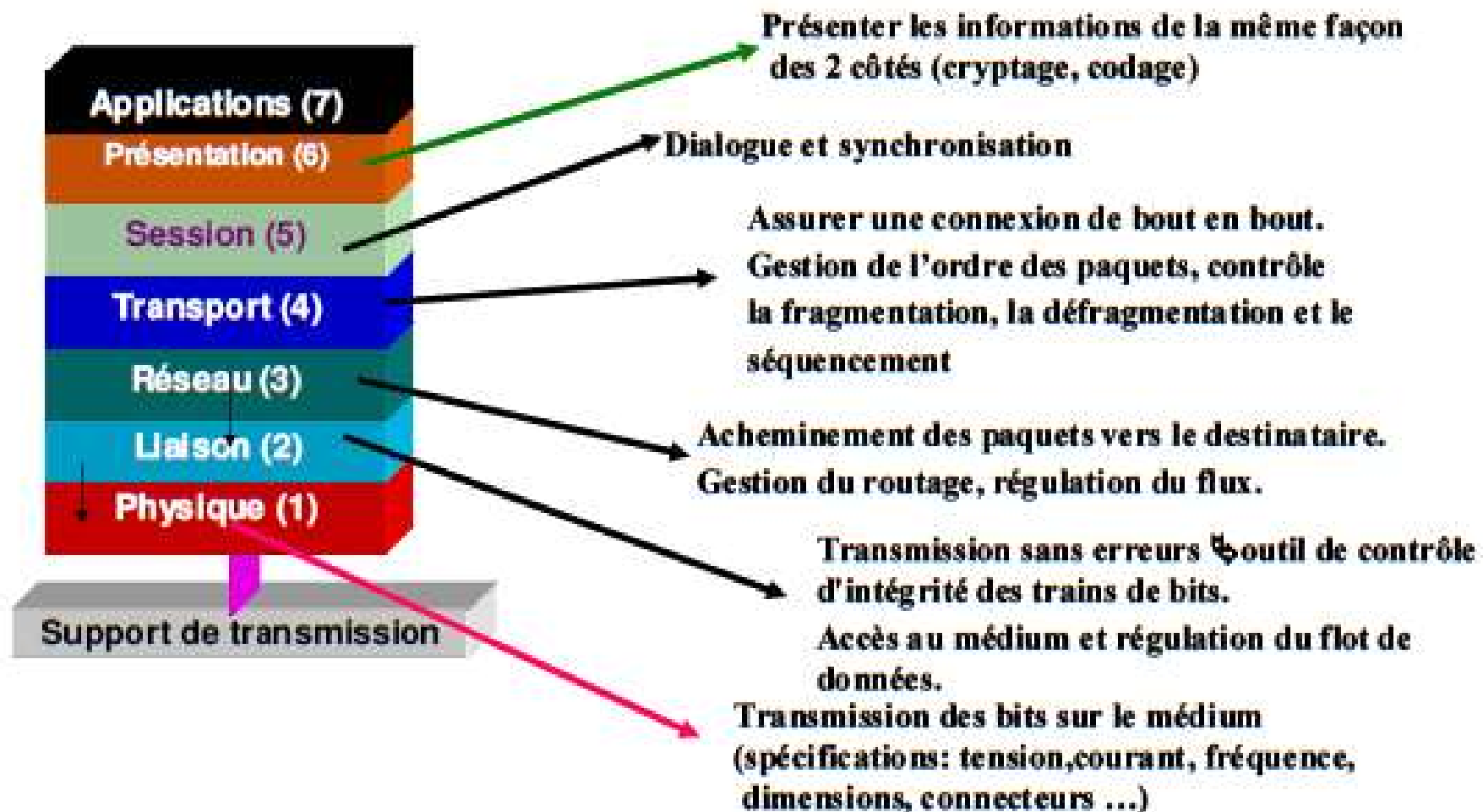
Jean-Marc THIRIET

jean-marc.thiriet@univ-grenoble-alpes.fr

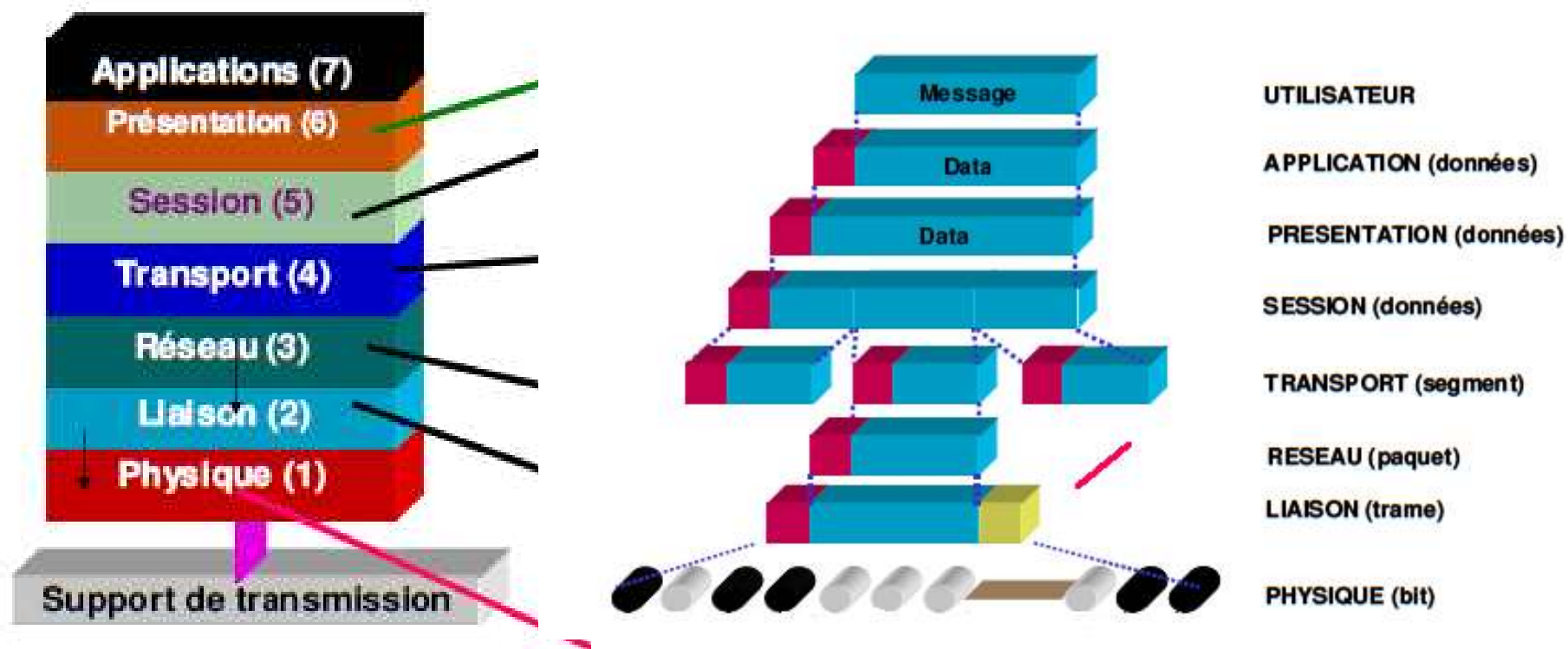
<http://www.gipsa-lab.grenoble-inp.fr/~jean-marc.thiriet/mistre/mistre.html>

2. Réseaux

2.1 Modèle OSI (*Open Systems Interconnection / Interconnexion de Systèmes Ouverts*) de l'ISO (*International Organization for Standardization / Organisation internationale de normalisation*)



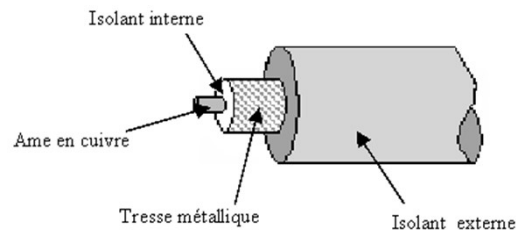
Modèle OSI (**O**pen **S**ystems **I**nterconnection / Interconnexion de **S**ystèmes Ouverts) de l'**I**SO (**I**nternational **O**rganization for **S**tandardization / **O**rganisation internationale de normalisation)



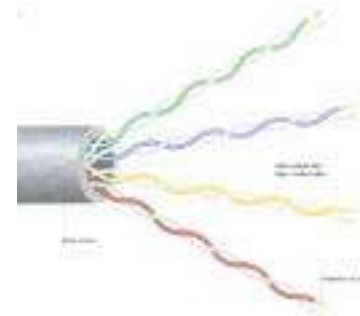
Couche Physique

- Différents supports :

Cuivre :



Coaxial



Paire torsadée

Non électrique :



Fibre optique



Hertzien

Couche physique

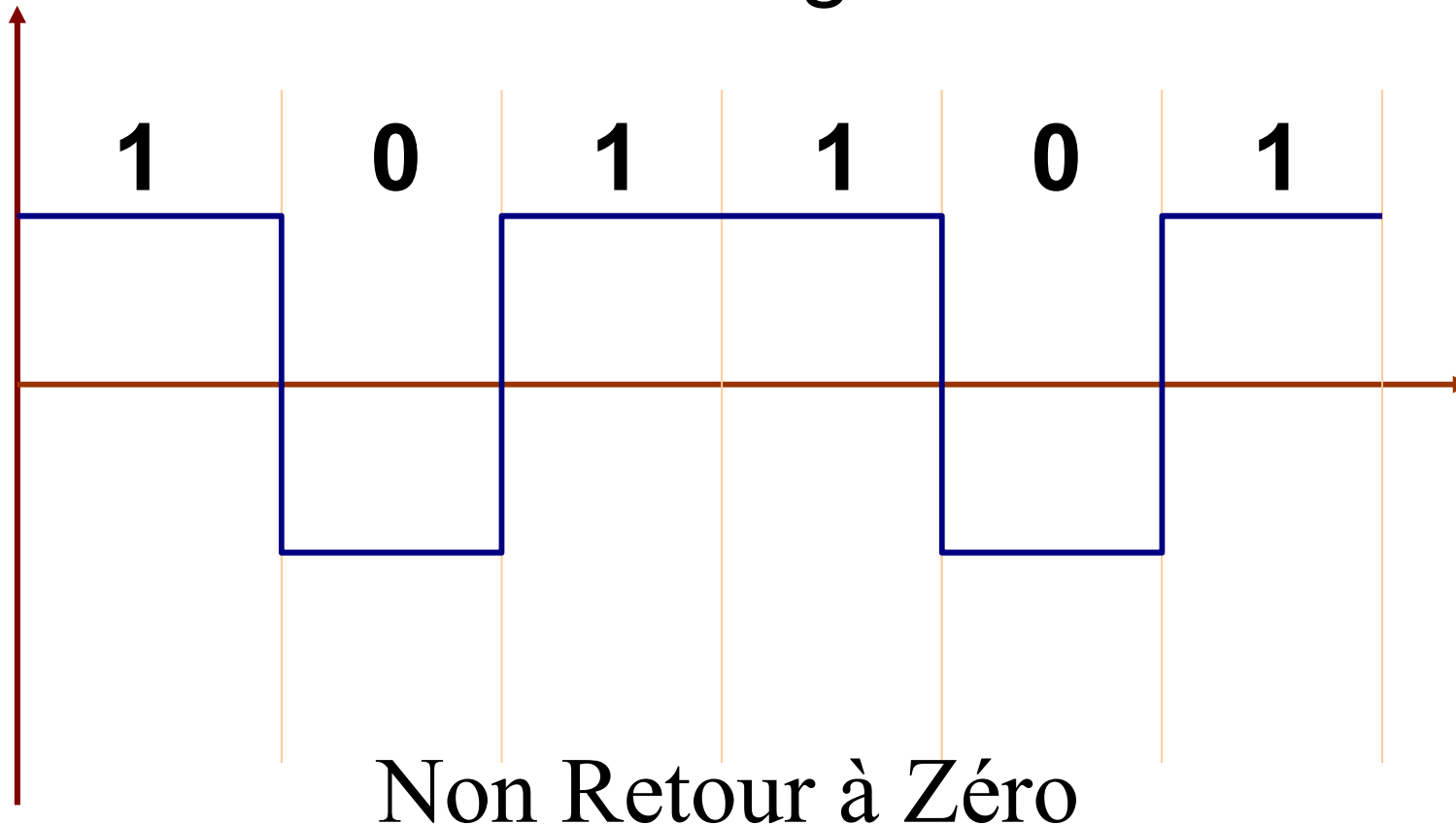
- Les plus employés en filaire :

EIA CCITT	RS232C V24/V28	RS422 V11/X27	RS485 V11/X27	Boucle de Courant
type interface	unipolaire	différentiel	différentiel	courant
niveaux	± 25 V max	± 5 V	± 5 V	0-20 mA
sensibilité	± 3 V	± 0,2 V	± 0,2 V	
distance	10 à 20 m	1200 m	1200 m	1 à 2 km
débit max.	19200 bds	10 Mbds	10 Mbds	19200 bds
multipoint	NON	OUI	OUI	OUI
nb. émetteurs	1	1	32	
nb. récepteurs	1	10	32	
impédance d'entrée	3 à 7 kΩ	4 kΩ	12 kΩ	
charge émetteur	3 à 7 kΩ	100 Ω	60 Ω	

Couche physique

- Désignation de types d'interface (numéro d'avis ou de norme) :
 - "RS..." : Normes américaines définies par l'EIA (Electronics Industries Association).
 - "V..." ou "X..." : avis internationaux définis par le CCITT (Comité Consultatif International pour le Téléphone ou le Télégraphe) => UIT-T (Union Internationale des Télécommunications)
L'interface boucle de courant (4-20mA), particulièrement utilisée dans l'industrie, ne correspond pas à une norme.

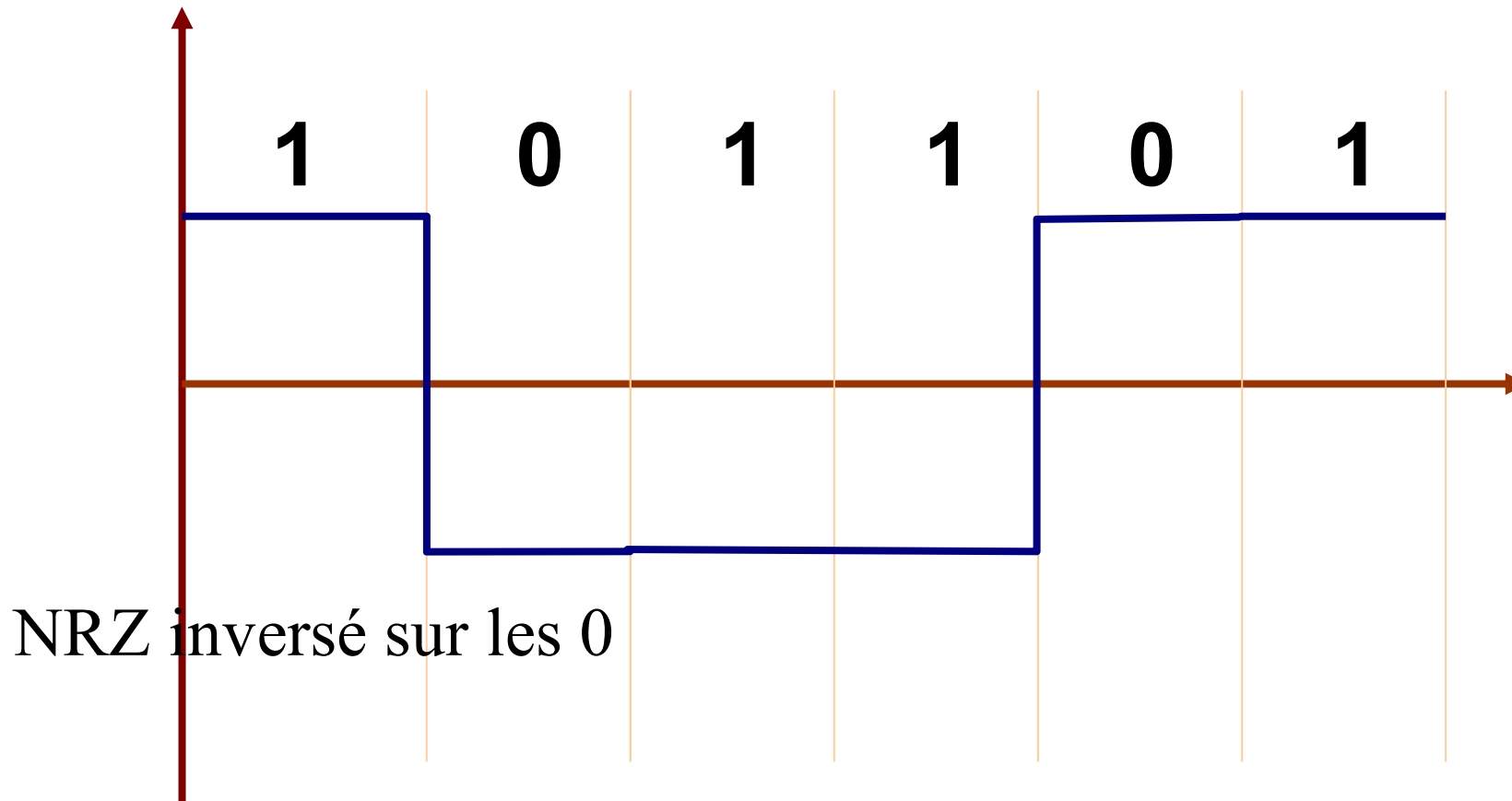
Codage NRZ



Niveau 0 : tension $-V$
Niveau 1 : tension $+V$

Problème de synchronisation à la réception
Débit maximum théorique double de la
fréquence utilisée pour le signal : on
transmet 2 bits par période

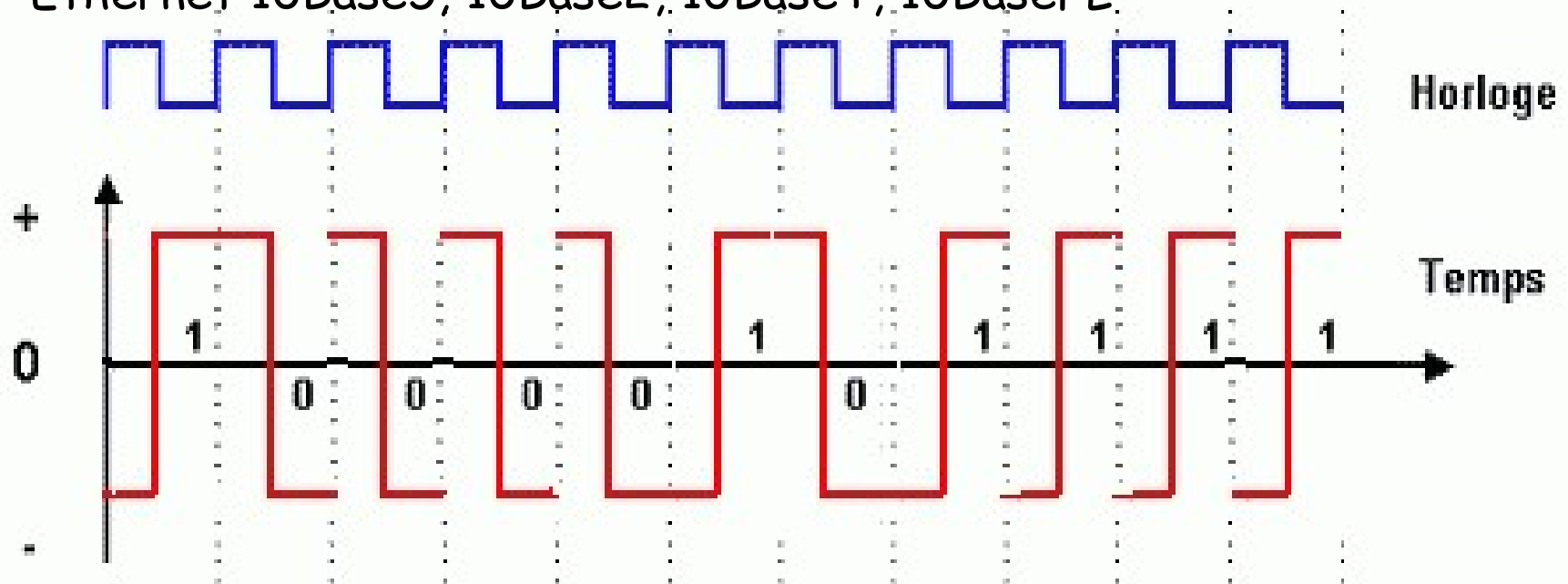
Codage NRZ inversé sur les 0



NRZ inversé sur les 1 : Fast Ethernet
(100BaseFX, FDDI)

Codage biphase ou Manchester

- Une transition par élément binaire => synchronisation
- Front montant : 1, Front descendant : 0
- S'obtient par une opération XOR entre l'horloge et les données
- Moins sensible aux erreurs de transmission
- Inconvénient : nécessite une bande passante de 1 bit pour 1 Hz (10 Mbits/s ont besoin de 10 MHz)
- Ethernet 10Base5, 10Base2, 10BaseT, 10BaseFL

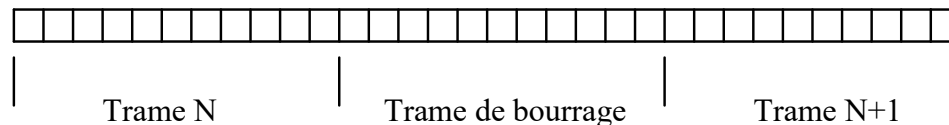


2.2 Transmissions

- Informations envoyées les unes après les autres : plus lent
- Un seul câble : coût moins élevé
- Émetteur: dispositif qui émet les bits en série avec sortie cadencée par une horloge
- Récepteur: échantillonnage du signal à la même fréquence pour retrouver les valeurs d'émission.
- 2 types de transmission série:
 - Transmission SYNCHRONE
 - Transmission ASYNCHRONE

2.2 Transmission série synchrone

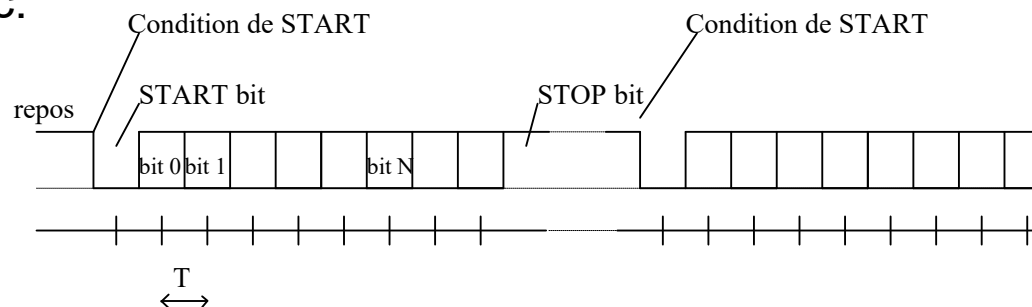
- Bits sont émis par trains : trames.
- Synchronisation du récepteur: il faut récupérer l'horloge. Soit on envoie l'horloge, soit on la déduit de la trame.
- Dans ce dernier cas, la régénération de l'horloge se fait au moyen d'une **boucle à verrouillage de phase** (PLL).
- Si aucune information pendant un certain de temps, la PLL ne peut pas se caler, et l'on perd la fréquence d'horloge. On envoie donc des trames spéciales, appelées trames de bourrage



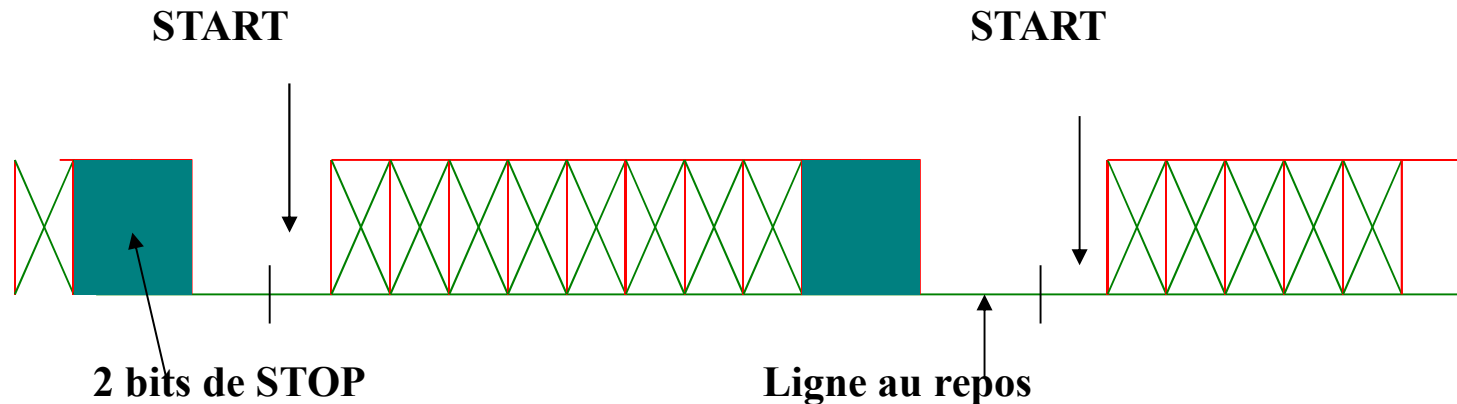
- Les trames sont en général délimitées par des symboles de début et de fin de trames.
- Cette méthode de transmission est la plus efficace, et donc elle est très utilisée.

2.2 Transmission série asynchrone

- Pas de transmission de l'horloge avec le signal
 ⇒ Horloges différentes à l'émetteur et au récepteur, mais de même fréquence.
 ⇒ Synchronisation au début de chaque bloc reçu, tous de même taille
- Principales caractéristiques :
 - instant d'émission de chaque bloc arbitraire.
 - transmission bloc par bloc.
 - intervalle entre deux blocs quelconque.
 - la ligne est au repos entre deux blocs
 - Les bits au sein d'un bloc sont émis à la fréquence des horloges.
 - Des états particuliers, appelés START et STOP délimitent chaque bloc.

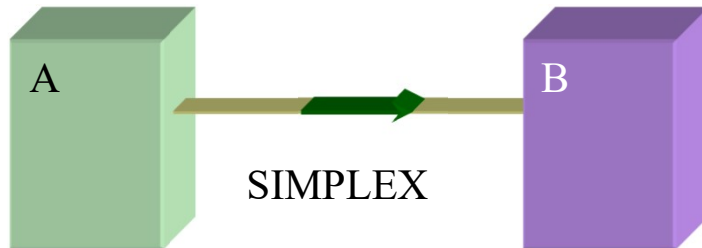


2.2 Trans. série asynchrone (2)

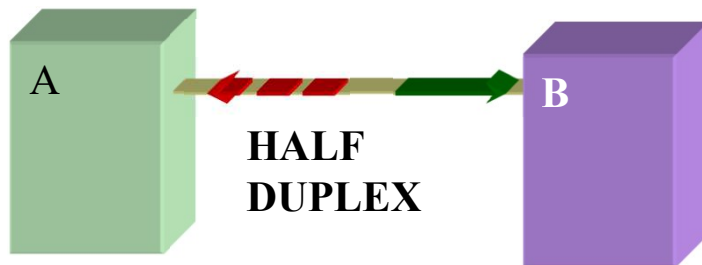


- A partir de l'instant de validation du START, le récepteur va lire tout les instants T la valeur du bit reçu. En général on transmet le bit de poids faible en premier.
- A la fin d'un bloc, on peut transmettre un bit de parité. Ce bit est facultatif, mais il peut aider pour détecter d'éventuelles erreurs de transmission du bloc considéré.
- On a alors deux types de parité possibles : parité paire (even) dans laquelle le nombre de bit (données + parité) à 1 est un nombre pair, et parité impaire (odd) ou ce nombre est impair.

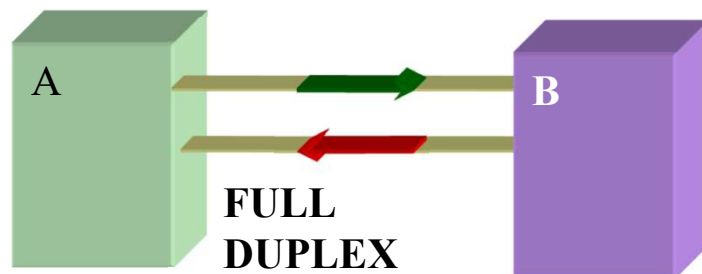
Sens de transmission



Mode de transmission unidirectionnel.
L'information va de A vers B.



Les informations circulent alternativement de A vers B et de B vers A. Un fil suffit. C'est le protocole de dialogue qui gère l'alternance des échanges.



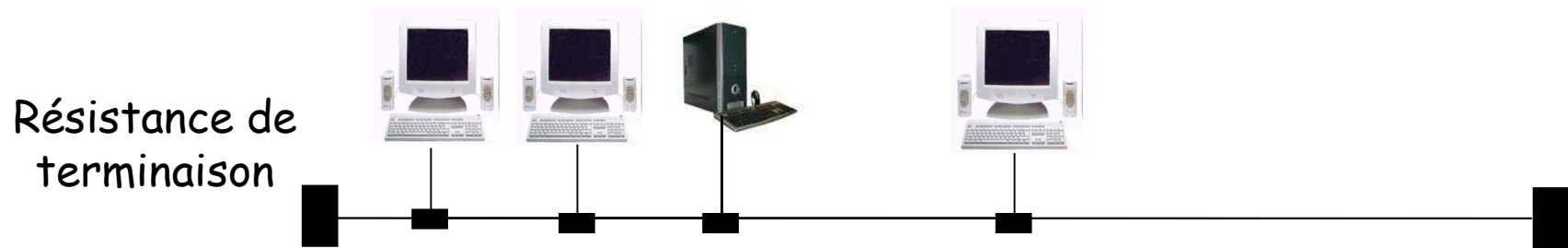
Les informations circulent dans les deux sens en même temps. En transmission de base deux fils sont nécessaires, en large bande, on utilise deux canaux.

2.3 Topologie

- **Point à point**
 - Medium (câble, fibre optique, transmission hertzienne) assurant le transport de l'information seulement entre deux machines reliées l'une à l'autre
- **Multipoint**
 - Lorsque plusieurs postes sont reliés ensemble

2.3 Topologie en bus

serveur



- Chaque équipement est relié à un câble commun à tous, c'est une extension de la liaison multipoint
- Sur les câbles coaxiaux, les connexions au niveau du câble commun sont assurées par des connexions passives (MAU ou transceiver) limitant les risques de panne
 - Sur fibre optique, ces connexions sont le plus souvent des éléments actifs

2.3 Topologie en bus

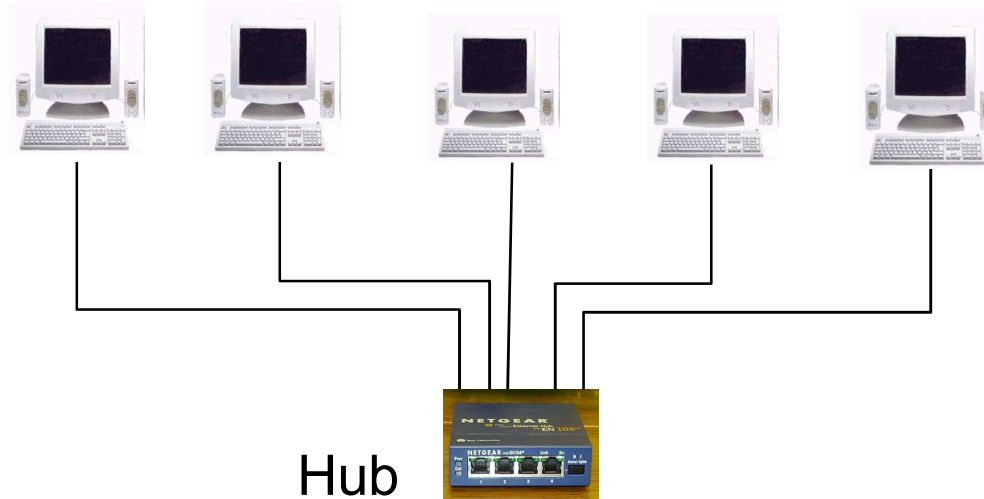
- Deux types de bus peuvent exister:
 - **Bus unidirectionnel** : les informations ne peuvent circuler que dans un sens et la transmission à toutes les stations est assurée par l'existence de deux canaux séparés (deux câbles distincts ou un seul câble et deux canaux multiplexés)
 - **Bus bidirectionnel** : les informations peuvent circuler dans les deux sens mais non simultanément sur un câble unique. Lorsqu'une station émet, le signal se propage dans les deux sens, de part et d'autre de la connexion, vers toutes les autres stations

2.3 Topologie en bus

- Avantages
 - Economie de câblage
 - Extension facile du réseau par ajout d'équipements (tout au moins avec câble coaxial)
 - Coupure de la fibre optique plus délicate
 - Dysfonctionnement d'une station ne perturbe pas le réseau
- Inconvénients
 - Panne du serveur = panne du réseau
 - Rupture du câble commun => toutes les machines en aval du serveur sont HS
 - Les autres machines peuvent fonctionner sous réserve d'une reconfiguration par le système d'exploitation et de l'ajout d'une résistance de terminaison
 - **Conflits d'accès** (plusieurs machines qui veulent émettre en même temps)
- Exemples
 - Ethernet, Appletalk, la plupart des réseaux locaux industriels (« bus » de terrain, « fieldbus » => CAN (Controller Area Network), Profibus, Worldfip...)

2.3 Topologie en étoile (star)

- L'étoile

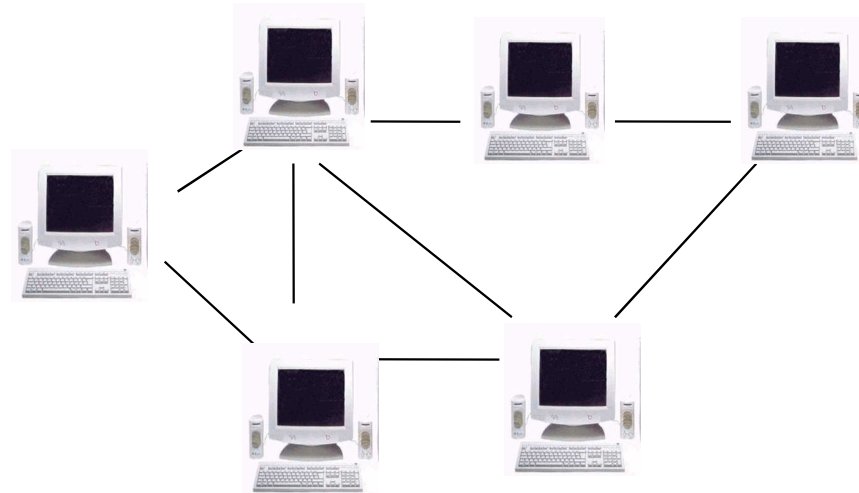


- Stations reliées en point à point à un serveur ou un concentrateur => nœud central par lequel transitent toutes les transmissions
- Nœud maître appelé concentrateur (hub)

2.3 Topologie en étoile

- **Avantages**
 - Ajout et retrait d'un équipement aisé
 - Equipements directement interrogeables par le serveur (gestion du réseau facilitée)
 - Défaillance d'un équipement ne perturbe pas le réseau
- **Inconvénients**
 - Longueurs importantes de câbles
 - Panne sur le serveur entraîne la panne du réseau
 - Extension difficile
 - coût
- **Exemples**
 - Réseaux comprenant des terminaux reliés à un ordinateur central
 - Câblage d'autocommutateurs privés (PABX: Private Automatic Branch eXchange / Central téléphonique privé)
 - Certaines bases de données partagées

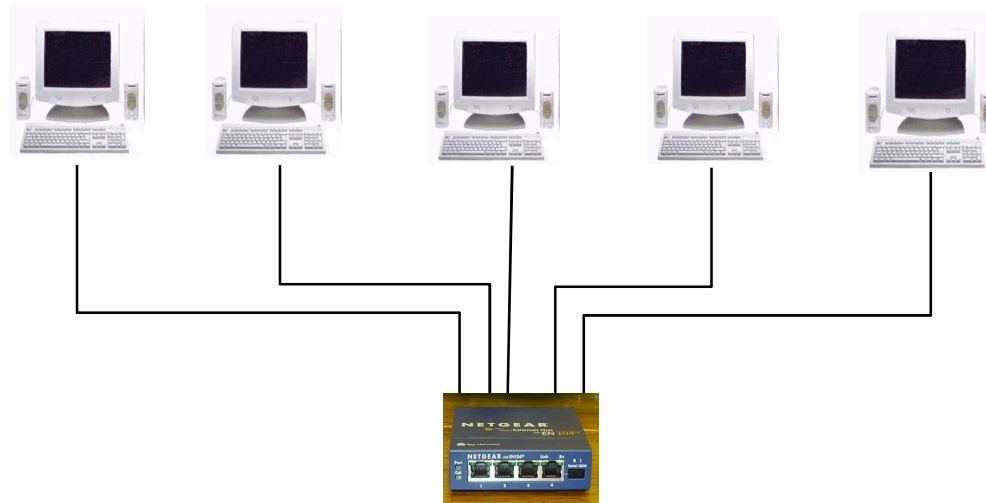
2.3 Réseau **maillé** (mesh)



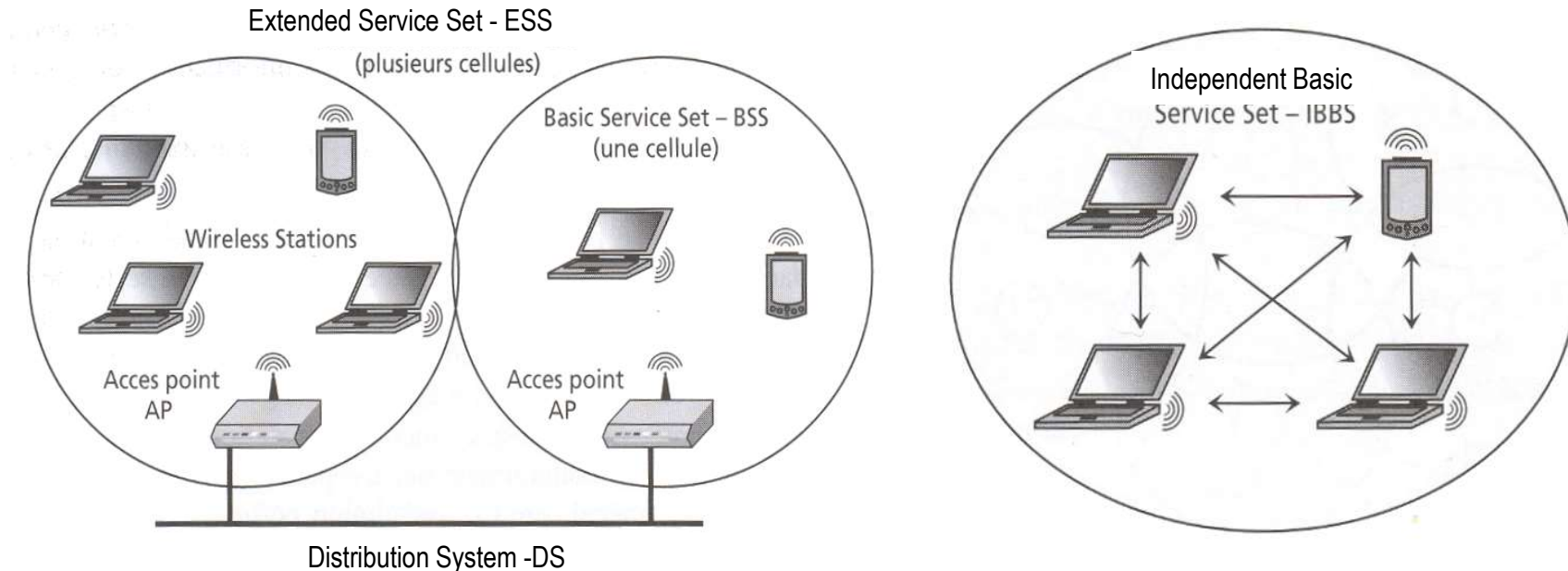
- Chaque poste peut-être relié en point-à-point à plusieurs postes
- Meilleure sécurité d'acheminement : plusieurs chemins possibles en cas de coupures
- Maillage régulier ou non
- Utilisé dans les grands réseaux (Internet)

2.3 Topologie physique/ Topologie logique

- Topologie **logique** et topologie **physique**
 - Topologie logique : manière dont circule l'information
 - Topologie physique : manière dont est câblé le réseau
 - Ex : Hub ethernet (concentrateur)
 - ⇒ Topologie logique en bus
 - ⇒ Topologie physique en étoile



Réseaux sans fil



Mode infrastructure

- Plusieurs cellules
- Les AP (point d'accès) sont reliés via un réseau câblé (DS, Distribution System)

Architecture dynamique : A chaque instant, des machines peuvent entrer ou sortir du réseau

Mode ad hoc

- Stations communiquant entre elles sans passer par un point d'accès
- Réalisation rapide de communications entre deux stations sans fil
- Pour pouvoir fonctionner sur un réseau étendu, ce mode doit être associé à un protocole de routage

2.4 Commutations

2.4.1 Réseaux à commutation

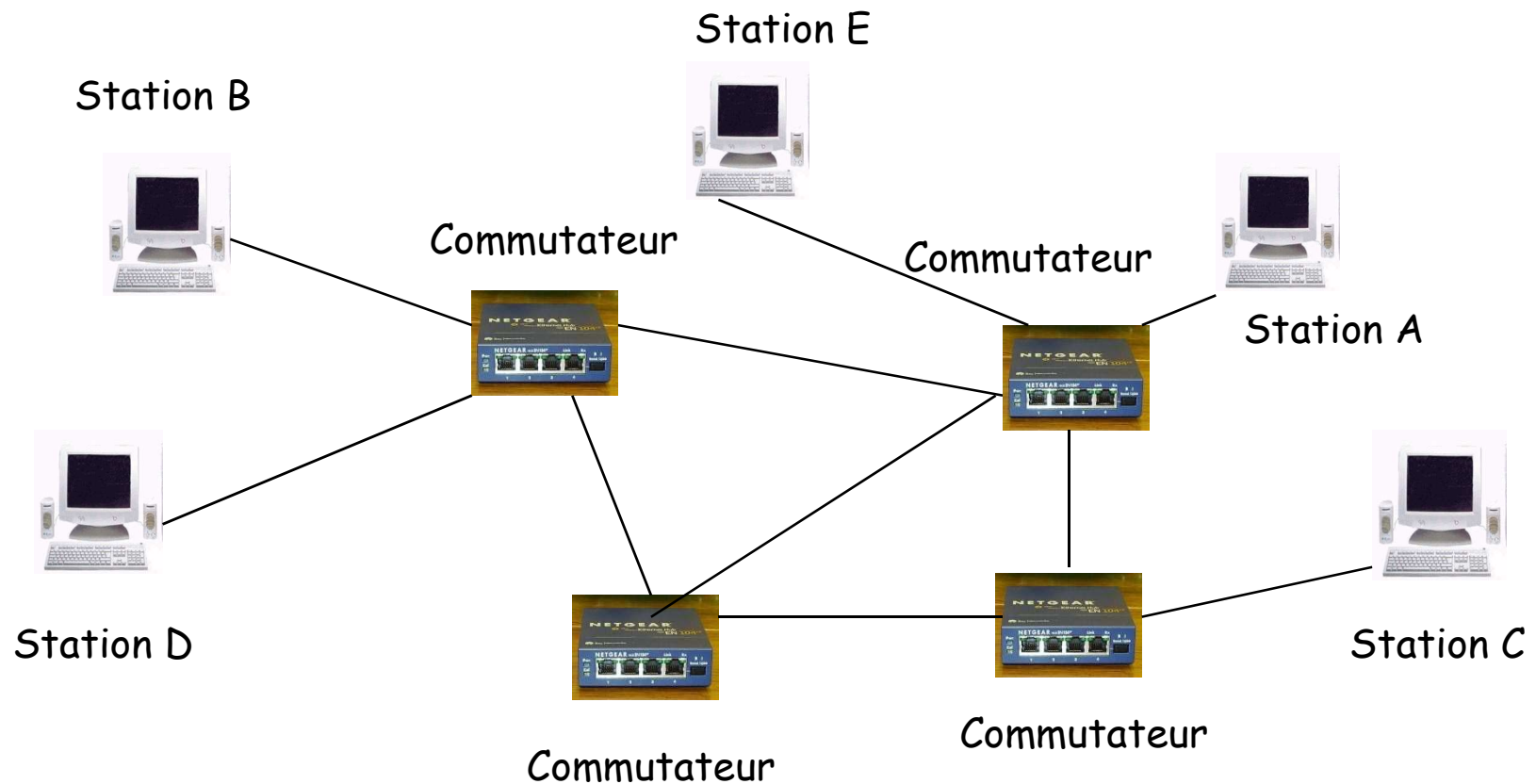
2.4.2 Commutation de circuits

2.4.3 Commutation de paquets

2.4.1 Réseau à commutation

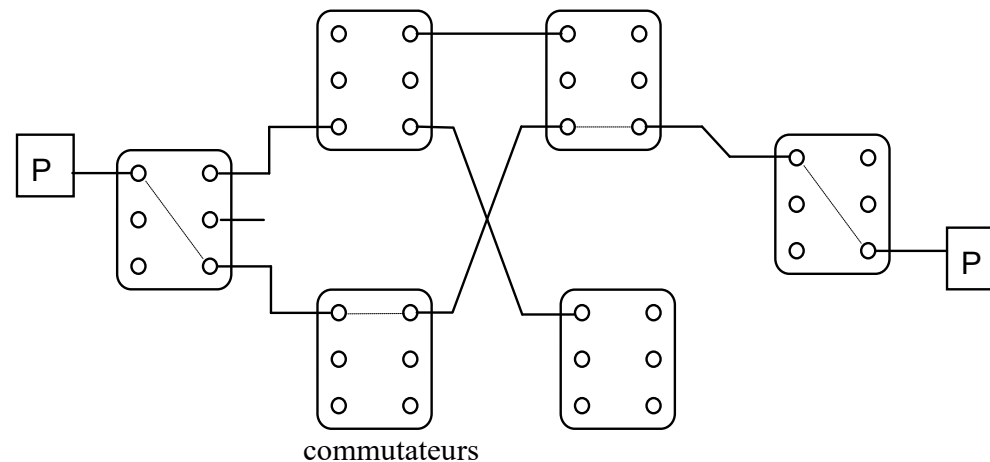
- Permet à tout équipement informatique connecté de communiquer directement avec tout autre équipement de type maillé (système ouvert)
- Formé d'un ensemble de stations interconnectées par des lignes de communication
- Liaisons gérées par des commutateurs ou des nœuds de communication chargés de trouver un chemin entre les stations communicantes et d'établir la liaison entre elles
- Trois types de commutation
 - Circuits
 - Paquets ou messages
 - Cellules

2.4.1 Réseau à commutation



2.4.2 Commutation de circuits (1/2)

- Données transmises sur un circuit, matérialisé par une continuité électrique, établi provisoirement entre deux stations
- Temps d'établissement et de commutation constant et court
- Format d'informations libres
- Pas de stockage des informations communiquées dans le réseau
- Taux de connexion et d'activité faibles



2.4.2 Commutation de circuits (2/2)

- Mise en relation établie entre deux correspondants => les ressources nécessaires sont affectées en permanence jusqu'à la fin de la communication
- Nécessité d'établir la connexion de bout en bout (attendre acceptation du destinataire) avant de pouvoir commencer à émettre
- Les temps morts, pendant lesquels les deux extrémités ne communiquent pas, mobilisent les ressources
- Ex :
 - téléphone commuté (RTC, réseau téléphonique commuté)
 - Communications longue distance ou transmissions de grands fichiers (sauvegardes, échanges de données bancaires...)

2.4.3 Commutation de paquets (1/2)

- Message découpé en paquets de longueur fixe
- Paquets transmis de commutateurs en commutateurs jusqu'à arriver à la station destinataire
- A l'arrivée à un commutateur, chaque paquet est mémorisé
- Caractéristiques de la commutation de paquets
 - Possibilité de reprise en cas d'erreur de transmission d'un paquet
 - Gestion des transmissions (acquittement ou demande de retransmissions) et contrôle de flux
 - Politique de routage (choix des chemins suivant la capacité et l'état du réseau)
 - Adaptation de la transmission entre équipements terminaux hétérogènes (adaptation des vitesses, des procédures et des codes dans les commutateurs)

2.4.3 Commutation de paquets (2/2)

- Taille maximale (dépend du type de réseau) entre quelques centaines de bits et quelques 10 kbits
- Environ 1000 à 2000 octets
- Méthode plus sûre
- Les chemins des paquets peuvent être différents
- Ex: X25 (réseau d'opérateur)

2.5 ACCESS MODE, FROM RANDOM ACCESS TO « DETERMINIST » ACCESS

Méthodes d'accès (liaison)

- Accès aléatoires :
 - Accéder librement au bus, dès que le médium est libre sans autorisation préalable
 - Risque de collisions
- Accès contrôlés :
 - attente d'un droit de parole (éviter tout conflit)
 - gestion centralisée :
 - 1 station contrôlant les accès
 - gestion décentralisée :
 - pl. stations contrôlant les accès

Accès aléatoires

Principe : Protocoles à compétition

- CSMA/CD :

(Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection)

- émission dès que le canal est libre
- en cas de collision :
 1. émission d'une séquence de brouillage
 2. après un délai : nouvelle tentative
 3. abandon après trop d'échecs

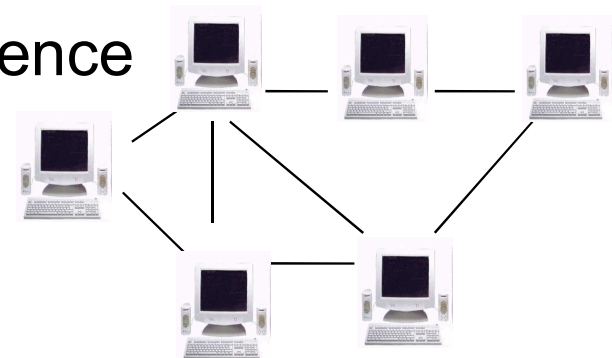
- CSMA/CA :

(Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)

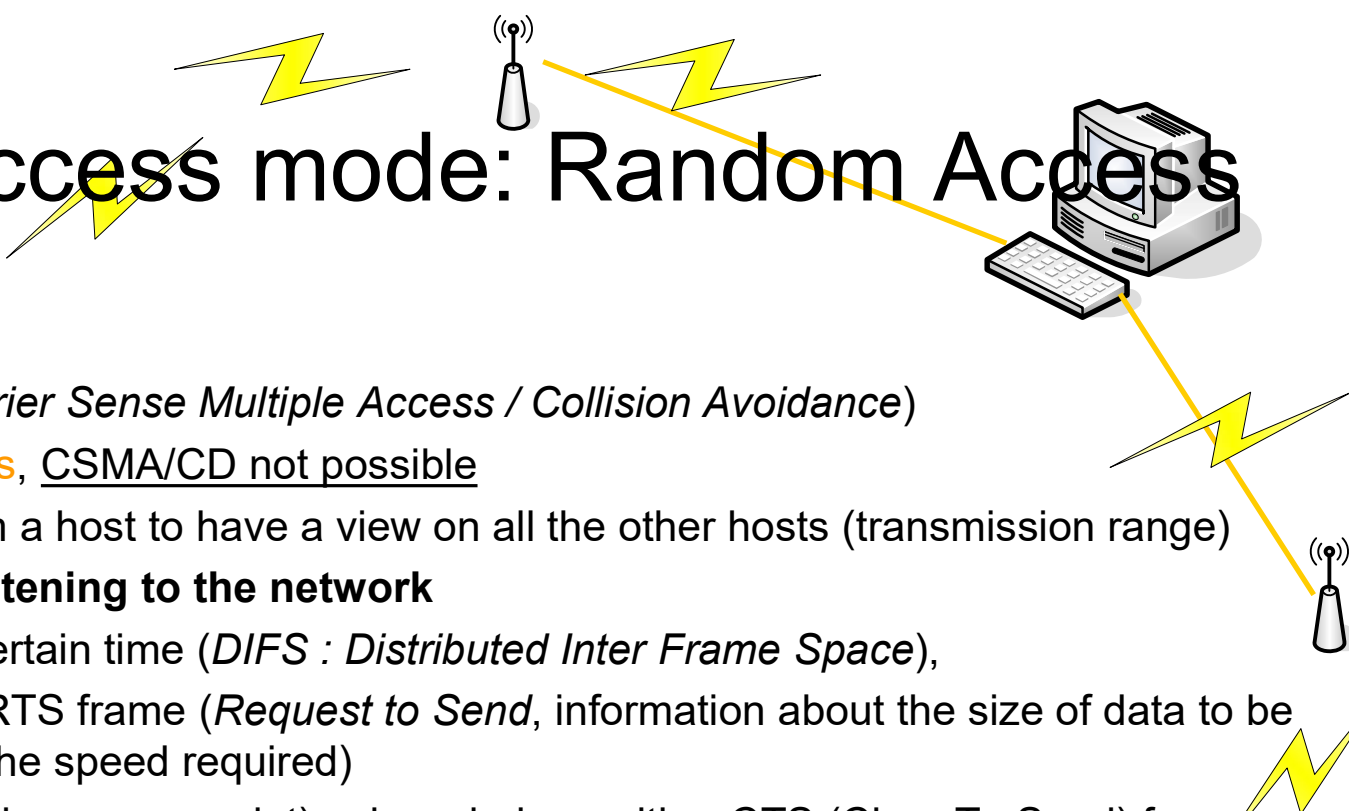
Mécanisme de priorité en cas d'émission simultanée

Access mode: Random access

- CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access /Collision Detection)
 - Carrier Sense
 - Multiple Access : Several hosts can access simultaneously: collision risks
 - When a collision occurs:
 1. transmission of a jamming sequence
 2. after a delay: new attempt
 3. abandon after too many failures
 - Collision Detection and processing (probabilist protocol, no priority)
 - Ex: [Ethernet](#), each host can transmit whenever
- **Non determinist**



Access mode: Random Access



- CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance*)

For **wireless networks**, CSMA/CD not possible

It is not possible from a host to have a view on all the other hosts (transmission range)

Transmitter host listening to the network

If free during a certain time (*DIFS : Distributed Inter Frame Space*),
the host send a RTS frame (*Request to Send*, information about the size of data to be
transmitted and the speed required)

The receiver (or the access point) acknowledges with a CTS (*Clear To Send*) frame
to allow the transmission (authorization)

The transmitter then send the data to be transmitted

When all the data are received, the receiver send an ACK (*Acknowledgement*) frame

The other hosts wait during a certain time (estimated time from the known data size and
transmission speed)

- Collision Avoidance (ex : **Wi-Fi** 802.11, 802.15.4 6LowPAN)
- **Non determinist**

Accès contrôlés

- Accès centralisé par "polling" :
 - Chaque abonné peut émettre à tour de rôle selon un ordre prédéfini.
 - Nécessité :
 1. d'un contrôleur des accès
 2. d'une table de scrutation
- Méthode du jeton sur bus :
 - Création d'un anneau logique dans lequel tourne un jeton
 - Droit de parole et contrôle de l'accès détenu par le possesseur du jeton
 - possession du jeton limitée dans le temps

Access mode: CSMA/AMP

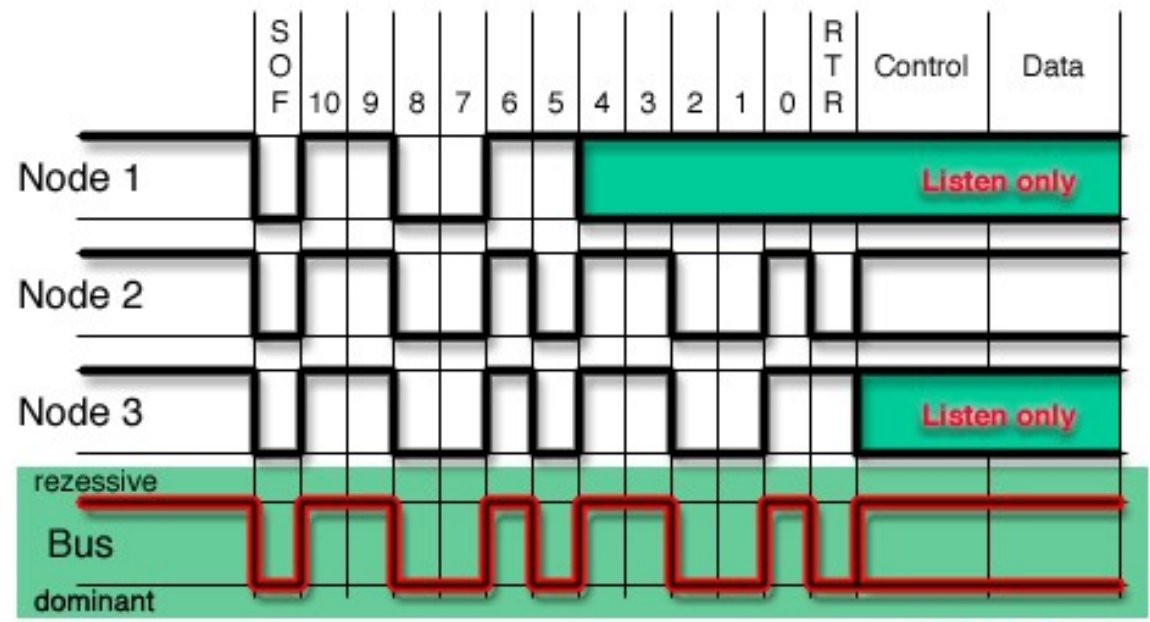
Arbitration by Message Priority

Ex. of Fieldbus networks

Scheduling of messages as a function of priorities

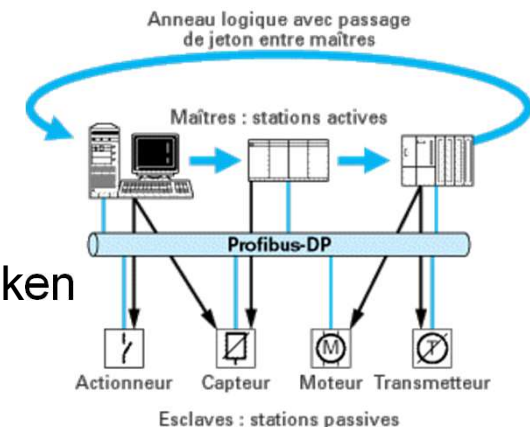
(ex : CAN network, Controller Area Network),

Partially
determinist
(configuration
strategy)



Access Mode: Controlled access

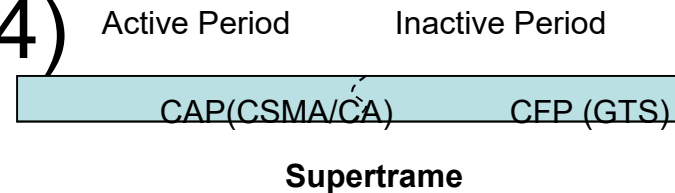
- Waiting until having the right to transmit (avoid any conflict)
 - **centralised** management:
1 host controlling accesses
 - **decentralised** management:
many hosts controlling accesses
- Centralised access by "polling" :
 - Each station can transmit in turn according to a predefined schedule.
 - Need:
 1. of an access controller
 2. a scrutation table
 - Ex : **WorldFIP** network
- **Determinist (for determinist traffic)**
- Decentralised access (ex : Token Ring)
 - A token running in a logical ring
 - Right to transmit and access control held by the token owner
 - time-limited possession of the token
 - Ex : **ProfiBUS** network
- **Partially determinist (configuration strategy)**



real time (critical time) Wireless network (if the physical layer works!)

- Zig-Bee (on 802.15.4)

- Superframes :

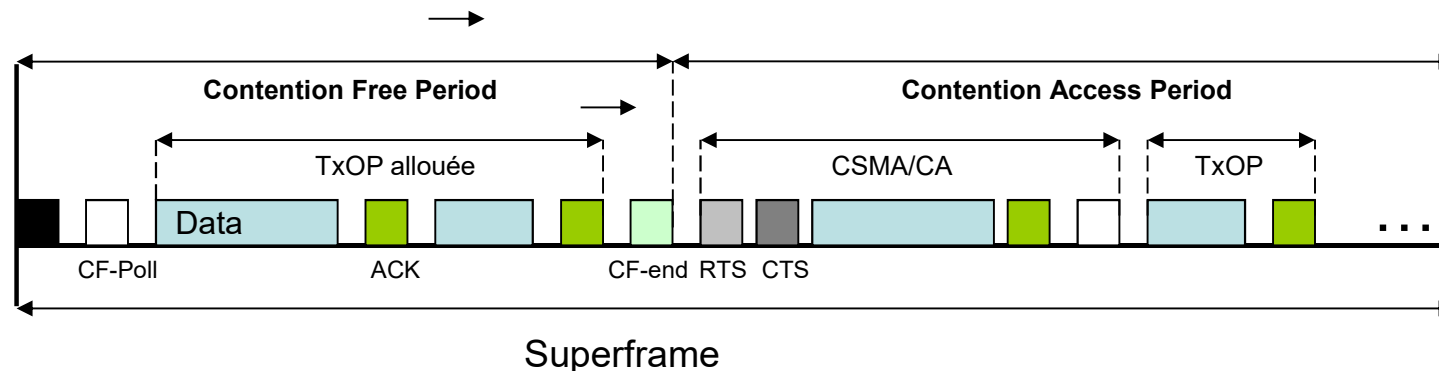


CAP (Contention Access Period) : all the nodes can transmit in a random way respecting the slot duration CSMA/CA

CFP (Contention Free Period) : Allow to guaranty an access to a node during a certain amount of time (measured as a number of GTS slots)

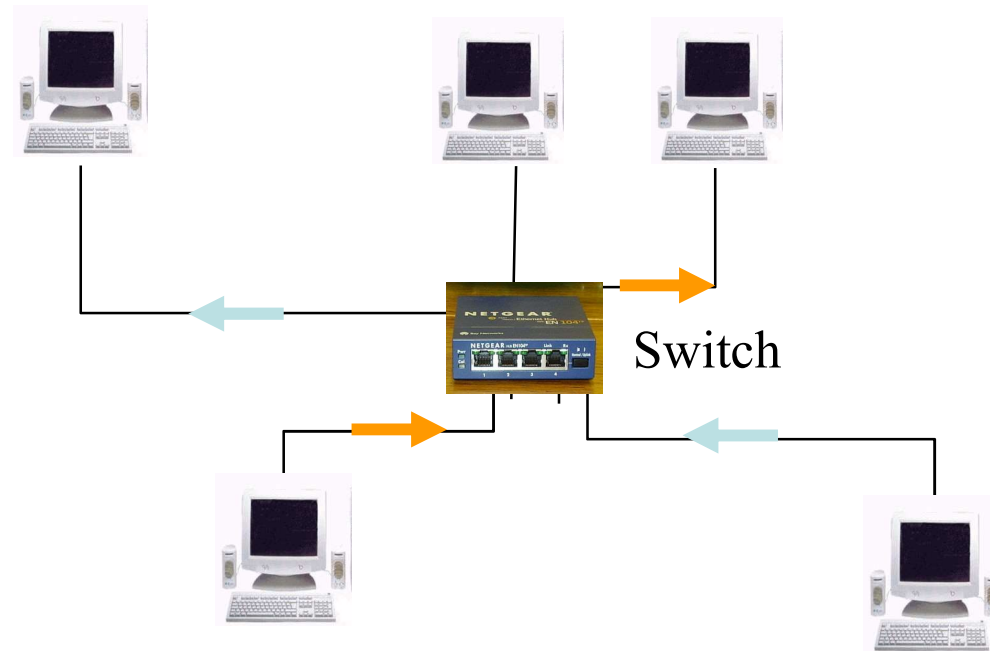
GTS (Guaranteed Time slots) : Dedicated time slots (the coordinator can allocate one or several slots to a node, in particular for time guaranties)

- Wi-Fi 802.11e



Switched Ethernet

- Ethernet = collisions
- Switches: delimitation of « free collisions » zones



Adressage IP

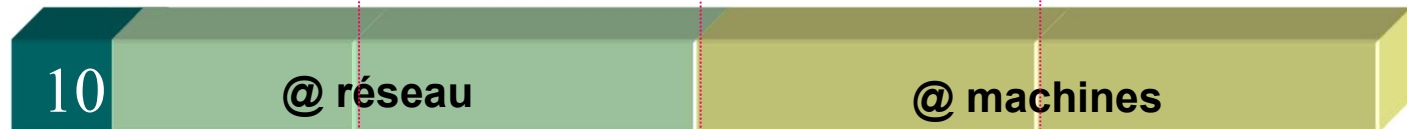
Les adresses IP: classes

Classe A

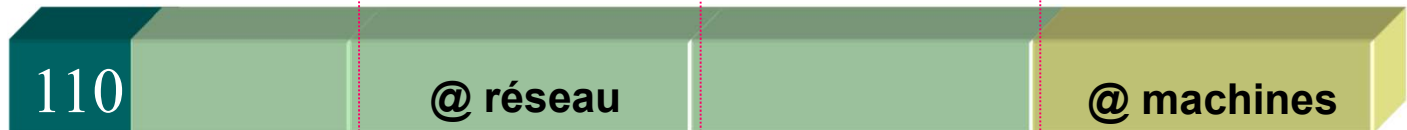


128 réseaux, 16 millions de machines

Classe B



Classe C



Classe D



Adresses particulières:

classe A: 0.0.0.0

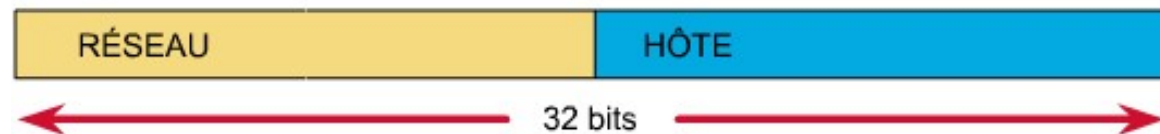
classe A: 127.0.0.0

Adresses broadcast:

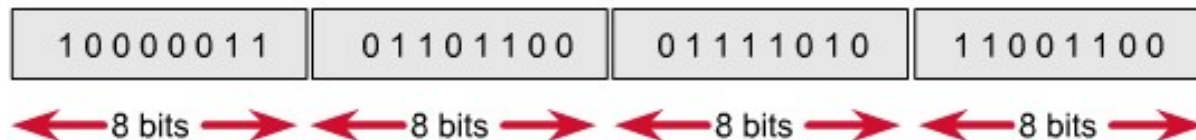
classe B: X.X.255.255

Adressage IP

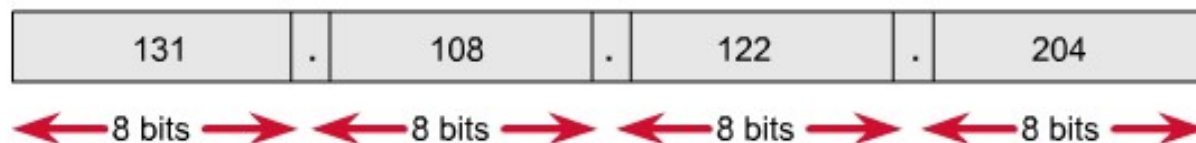
- Adresse IP :
 - Codée sur 32 bits (4 octets)
 - Elle comporte 2 parties principales
 - Un numéro de réseau (network)
 - Un numéro de machine (host)



- Division en groupe de 8 bits (1 octet) séparé par des points



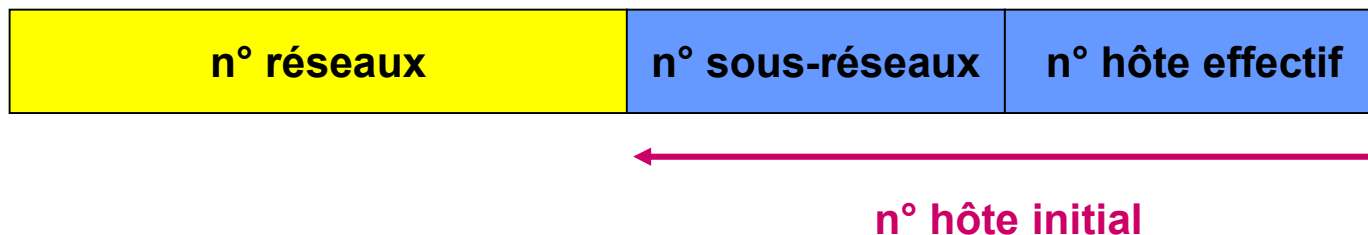
- Par souci de simplicité, représentation au format décimal



Sous-réseaux

- Découpage d'un réseau en entité plus petites :
 - Sous-réseau ou subnet
 - Décidé par l'administrateur du site
 - Adresse de sous-réseau prélevée sur la portion "hôte"
 - Longueur calculée en bits décidée par l'administrateur

Adresse IP d'un élément du réseau (ordinateur) :

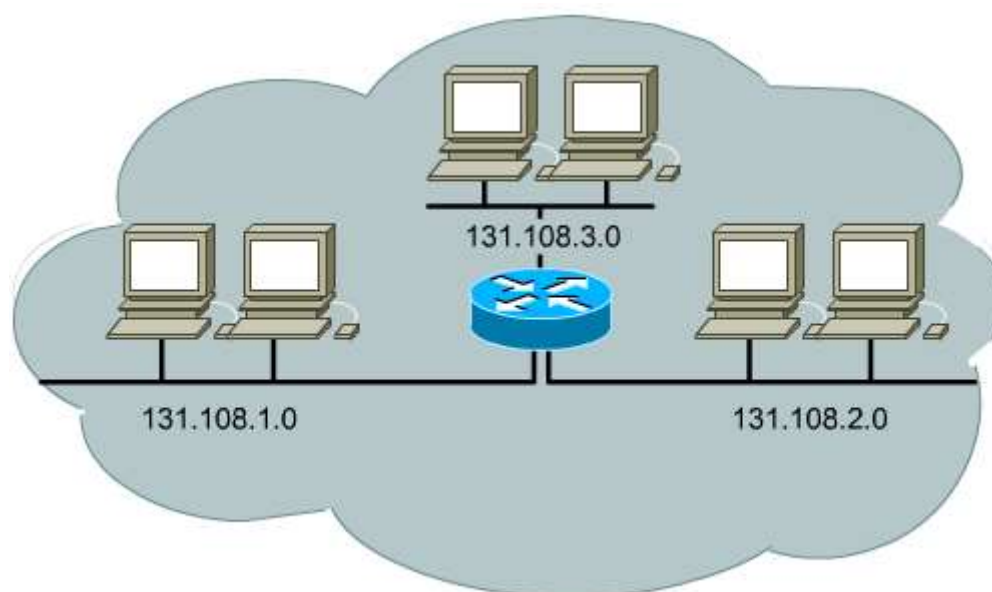


- Interconnexion des sous-réseaux impérativement par des routeurs
- Découpage inconnu de l'extérieur
- Réalisation à partir d'un masque de sous-réseaux

Sous-réseaux

- Exemple de sous-réseaux :
 - **réseau de classe B** de numéro IP : **131.108.0.0**,
 - on peut créer par exemple **3 sous-réseaux de Classe C d'adresse :**

- 131.108.1.0
- 131.108.2.0
- 131.108.3.0



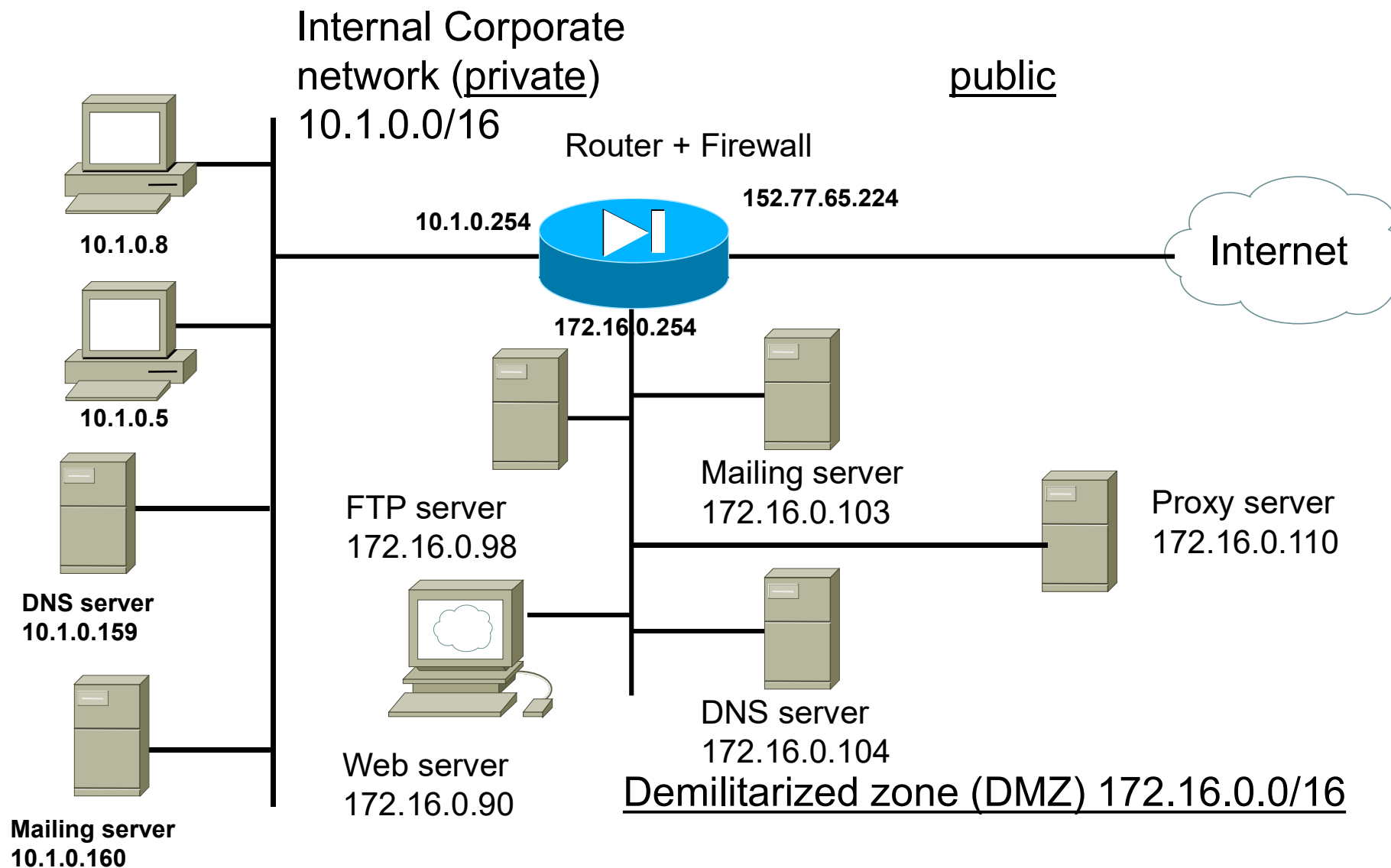
Adressage privé

- Adresses de l'internet (IPv4)
 - Théorie, 2^{32} adresses (~4,3 Mds d'adresse)
 - Pratique
 - Adresses publiques : ~3,2 Mds
 - Adresses réservées : test...
 - Adresses privées : réservées pour les réseaux internes (non accessibles de l'extérieur)
 - 10.0.0.0 à 10.255.255.255 (préfixe 10/8)
 - 172.16.0.0 à 172.31.255.255 (préfixe 172.16/12)
 - 192.168.0.0 à 192.168.255.255 (préfixe 192.168/16)

Adressage

- Adresse IP : particularités
 - **soi-même** : 127.0.0.1 (bouclage ou localhost)
 - test logiciels, communication inter-processus sur la station
 - **tous les bits sur la partie machine à 0** => le réseau
 - 130.190.0.0 désigne le réseau de classe B (130.190.0.0/16)
 - **tous les bits de la partie machine à 1** => tous les hosts du réseau
 - diffusion, broadcast IP
 - 130.190.255.255 désigne toutes les machines du réseau 130.190/16
 - **0.0.0.0** = une machine ne connaît pas son adresse

A network...



Couche liaison des réseaux locaux IEEE

- 3 types de protocoles de liaison de données LLC (Logical Link Control)
 - LLC1 : service sans connexion et sans acquittement (type 1)
 - LLC2 : service avec connexion (type 2)
 - LLC3 : service sans connexion et avec acquittement (type 3)
- Protocole utilisé par ex. sur IEEE 802.3 et 802.11

Adressage par SAP

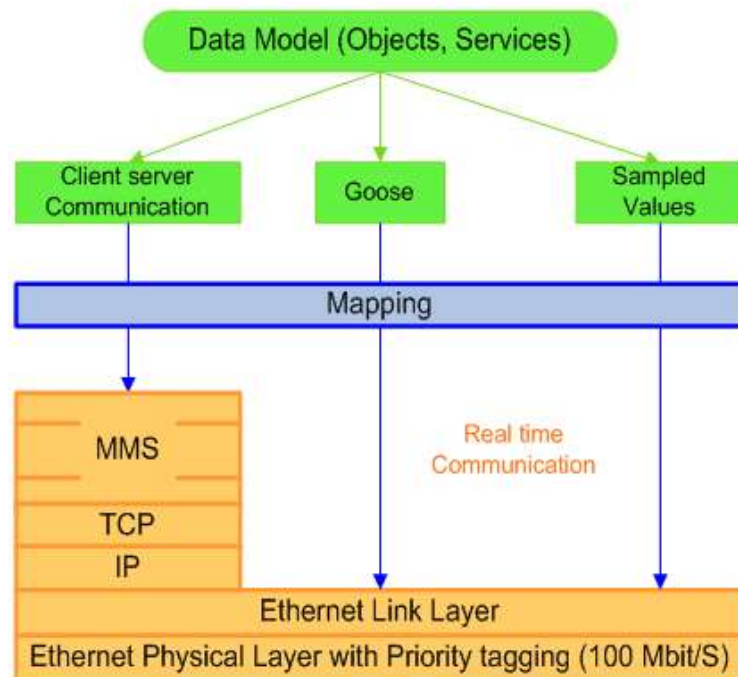
- Les services de la couche LLC peuvent être utilisés
 - par différents protocoles de la couche réseau
 - Par le gestionnaire de la couche LLC
- Chaque entrée dans le service LLC est repéré par un identificateur LSAP (Link Service Access Point)
- Quand une connexion est établie, la couche réseau choisit un passage SSAP (Source SAP) et y envoie une demande de service. A l'autre extrémité, l'information réapparaît par un autre passage DSP (Destination SAP)
 - La paire SSAP;DSAP identifie parfaitement la liaison

Format des trames LLC

- Les trames LLC ont le format général suivant :
- Le premier octet correspond au DSAP (LSAP de la machine destination)
- Le second octet correspond au SSAP (LSAP de la machine source)
- Les champs suivants contiennent différents types de trames

IEC 61850

Communications aspects based on Switched Ethernet => for Smart Grids



- Satisfying real time performance by the standard in developing extension cards that can transmit critical real-time signals at serial network level
- Development of a new application layer allowing to track the dialogue according to the IEC 61850 standard
- New equipment design playing the role of Ethernet switch/ IEC 61850 converter and data concentrator

Exercice

- 152.37.0.0/16
 - 3 (sous-)réseaux
 - Plages d'adresses correspondant à ces trois sous-réseaux (les plus grands possibles)
 - Adresse de base de réseau
 - Plages d'adresses utilisables par les machines
 - Adresse Broadcast
-
- 152.37.0.0/12 : Plages d'adresses pour ce réseau ?

Exposés réseaux (1/3)

- Groupe de **3**
- Exposé présenté lors du cours du **mardi 17 octobre 2023** après-midi
- C'est un **travail de groupe**
- Par groupe: 1 Leader (organisation du groupe), 1 Rapporteur (pour faire la présentation finale) => Délai: **Prochain cours de mardi 26**

Exposés réseaux (2/3)

Sujets type

- Modbus
- Réseaux sans fil (Zigbee, Wi-Fi, 6LowPan, comparaisons ?)
- Réseaux industriels (CAN, Profibus, ASI, comparaisons ?)
- LORA
- LI FI
- Réseaux pour l'IoT
- Autres idées

Exposés réseaux (3/3)

Rendus

- Présentation (avec planches) à faire le **17 octobre** par le rapporteur: 4 ou 5 planches pour une présentation de 5 minutes
 - 1. Composition du groupe, rôles, sujet choisi
 - 2 à 5 : Type de réseau
 - Couches physiques possibles
 - Méthodes d'accès
 - Principales utilisations
- **M'envoyer les planches pour le 16 octobre 2023, 20 heures, dernier délai**

Références

- Transmissions et réseaux, S. Lohier & D. Présent, Dunod, Paris, 2003.
- Cours de DUT RT et LPRO Grenoble, plusieurs auteurs
- Cours Emmanuel Simeu, Polytech Grenoble, Supervision
- Cours de Blaise Conrard, RLI, Université Lille 1
- Cours Eric Gnaedinger, Université de Lorraine
- Automates programmables industriels – W. Bolton – Dunod, 2015.

Conversion rapide décimal/binaire/hexadécimal

- Décimal/binaire
 - 125 en binaire

– 2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
– 128	64	32	16	8	4	2	1
– 0	1	1	1	1	1	0	1

Conversion rapide décimal/binaire /hexadecimal

quartet



Base 2	Base 16	Base 10
0000	0	0
0001	1	1
0010	2	2
0011	3	3
0100	4	4
0101	5	5
0110	6	6
0111	7	7
1000	8	8
1001	9	9
1010	A	10
1011	B	11
1100	C	12
1101	D	13
1110	E	14
1111	F	15