



# Cours Réseau et IoT

Rappels et notions de base sur les réseaux informatiques

Département Informatique et Technologies du Numérique ITN

Master 1 Informatique

Parcours : Informatique & Big Data

Y. Y. Touati

[capaok@gmail.com](mailto:capaok@gmail.com)

## Quelques notions de base sur l'IoT et les réseaux

- Utilisation et extension d'Internet vers l'ensemble des objets ou sujets déployés dans le monde réel et évoluant dans des environnements homogènes ou/hétérogènes.
- Objectif : Contrôle, suivi, analyse, visualisation
- Notion de l'objet :
  - Dispositif doté capteurs et/ou d'actionneurs pouvant communiquer avec le monde extérieur par ondes radio et internet.
  - Réception/émission.
  - Autonomie.
  - Intelligence embarquée.

! Pas souvent vrai

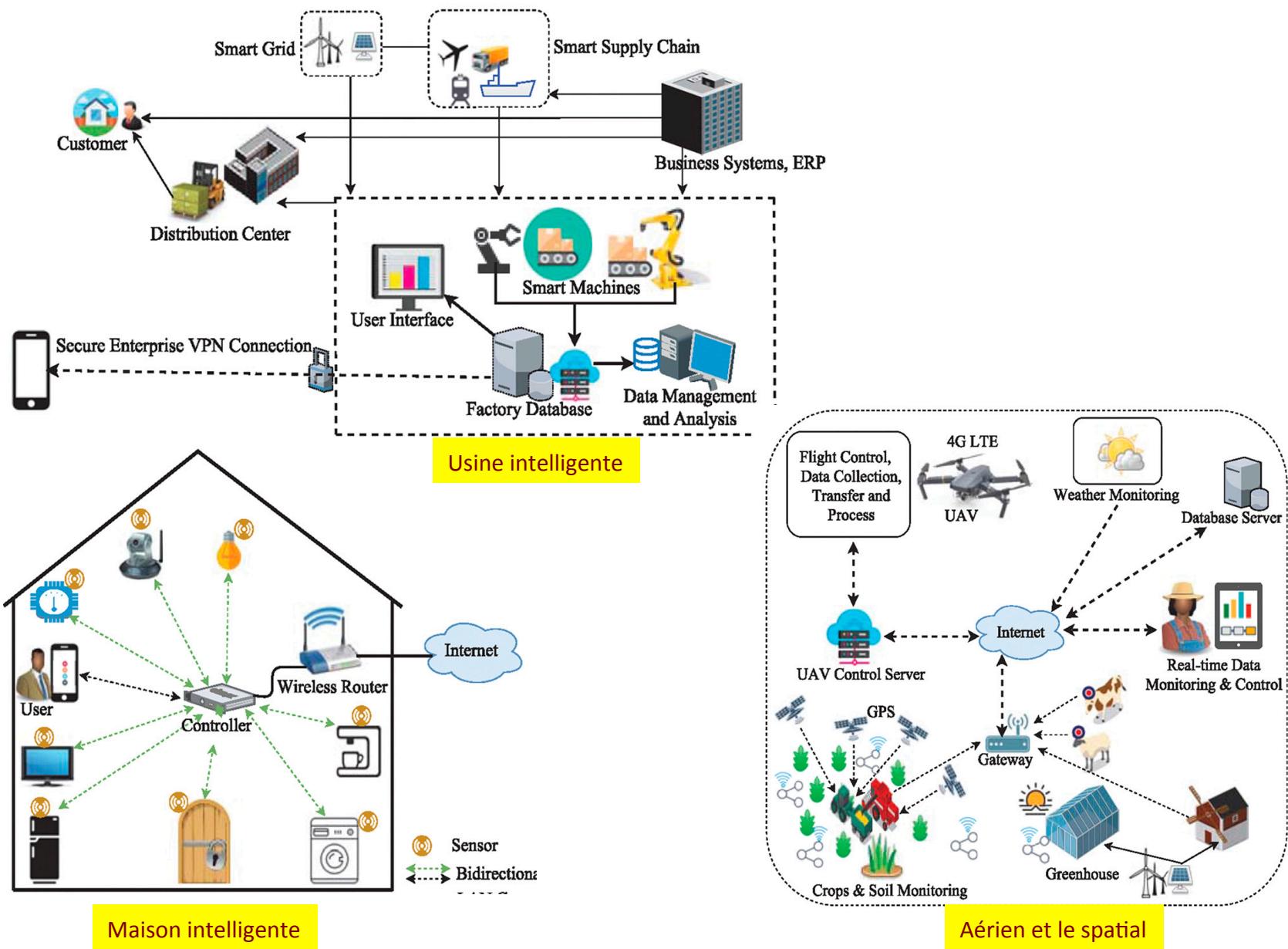
**Remarque** : Il existe beaucoup d'applications où une connexion Wireless soit remplacée par une connexion filaire ou par fibre optique (ex. ouverture de verrou) et que l'on utilise pas de l'Internet (ex. montre connectée qui transmettant des data directement vers un Smartphone)

## Les enjeux des objets connectés

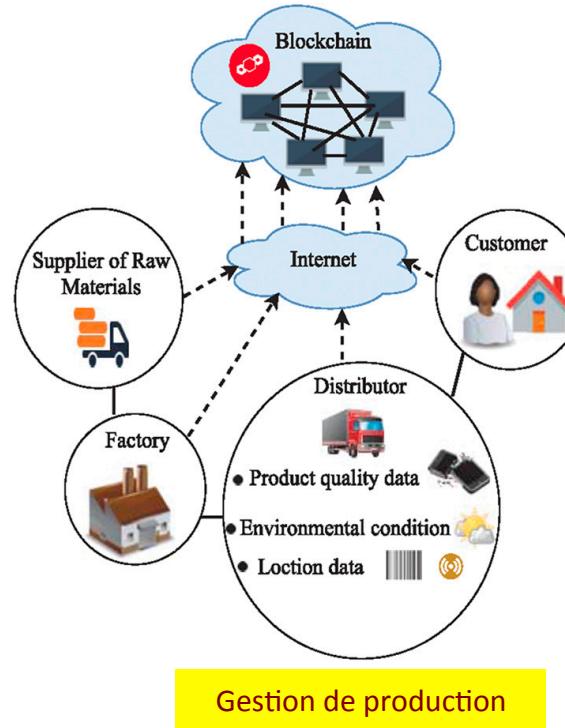
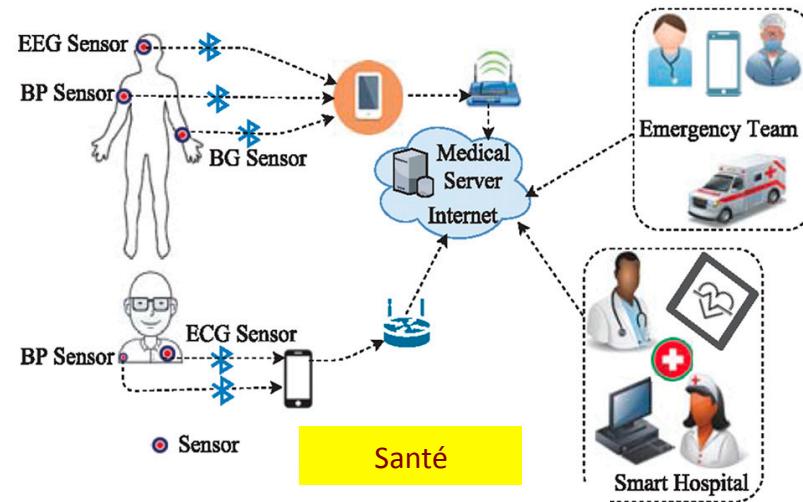
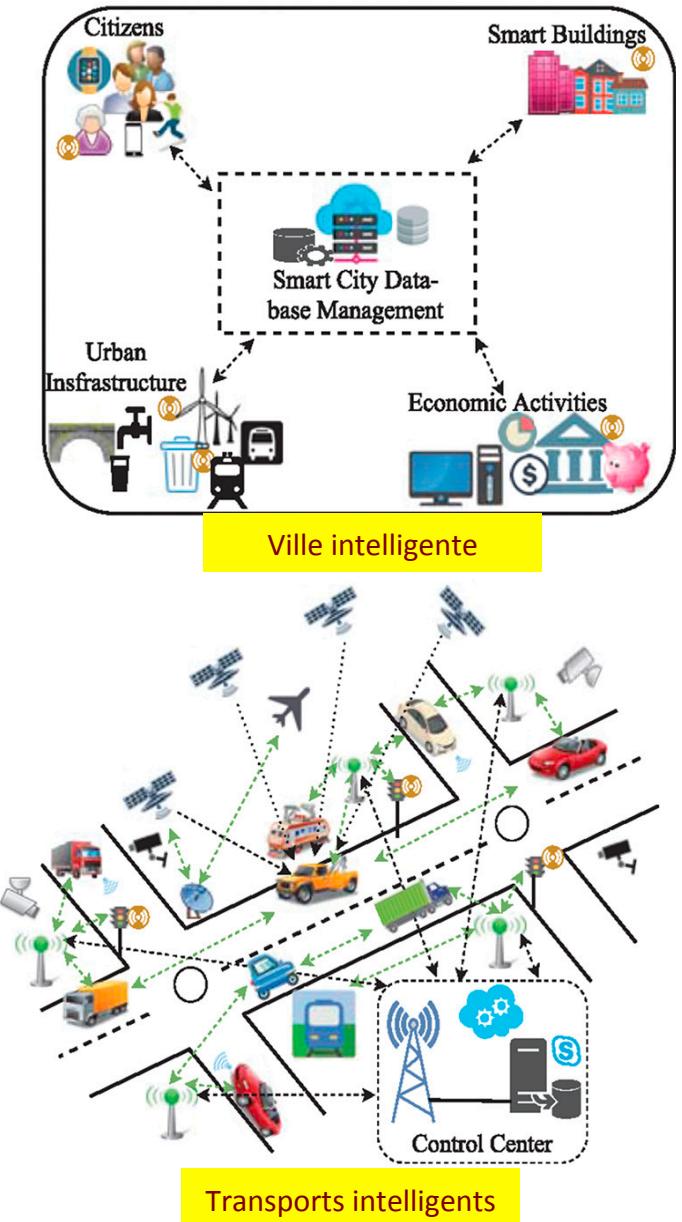
- Les objets connectés sont en perpétuelle connexion avec de nouveaux services (ex. Analyse des données, transmission sur le Cloud, intelligence et comportement, etc.).
- Marché des objets connectés pourrait s'établir entre quelques dizaines de milliards et jusqu'à plusieurs milliers de milliards d'unités.
- Des questions qui restent posées !
  - Détection des données ?
  - Acteurs ?
  - Risques pour la vie privée ?



# Champs d'applications



## Autres champs d'applications



# Protocoles mis en œuvre

## PAN / WPAN

Communication with local sensors and actuators



## IP & discovery

Communication with user PC, tablet, TV, media devices, etc.



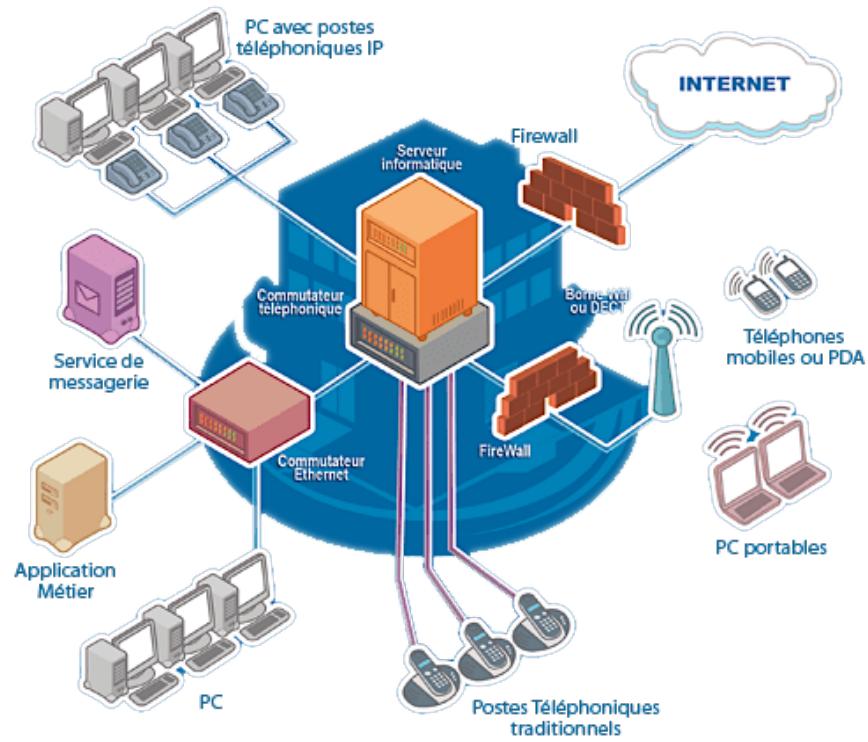
## Web services & messaging

Synchronous & asynchronous communication with the cloud



# Définition d'un réseau informatique

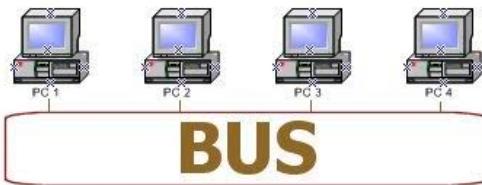
- Un **réseau informatique** est un ensemble d'équipements ou nœuds dispersés géographiquement reliés entre eux pour échanger des informations et offrir des services. *Source Wikipédia*
- Un nœud représente l'extrémité d'une connexion, qui peut être une intersection de plusieurs connexions ou équipements (un ordinateur, un routeur, un concentrateur, un commutateur, ....). *Source Wikipédia*
- Les **infrastructures** : Soit des câbles pour les signaux électriques, l'atmosphère pour les ondes radio, ou la fibre optique pour les ondes lumineuses. Elles permettent de relier physiquement la totalité des équipements interconnectés constituant le réseau selon des **protocoles** bien précis. *Source Wikipédia*
- Les **équipements** d'un réseau sont connectés directement ou non entre eux, conformément à quelques organisations types connues sous le nom de **topologie de réseau**. *Source Wikipédia*



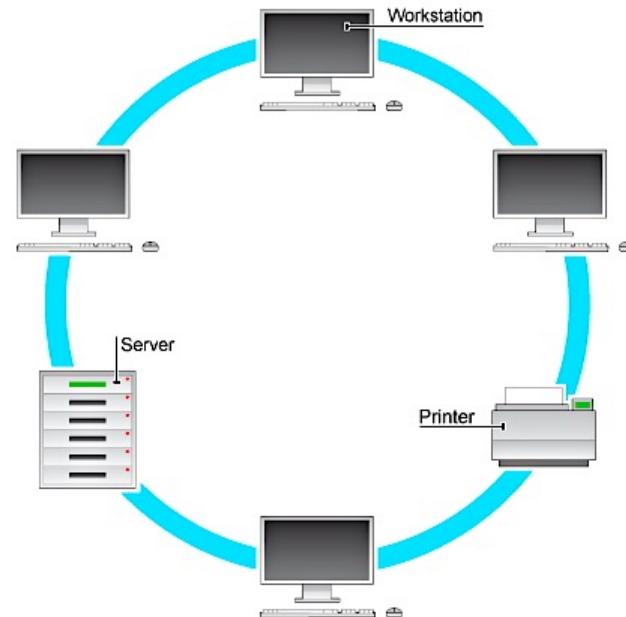
## Classification des réseaux selon la couverture

Type de réseau	Couverture
bus	Quelques centimètres
PAN	Inférieure à 10 mètres
LAN	10 mètres - 10 Km
MAN	10 Km - 100 Km
WAN	Supérieure à 100 Km

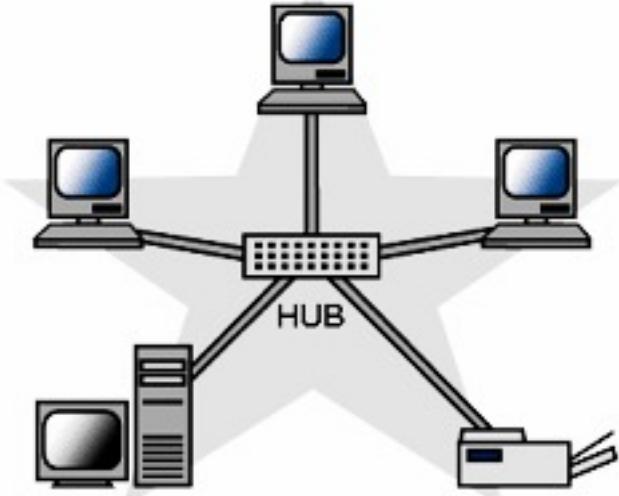
# Classification des réseaux selon la topologie



Topologie en bus

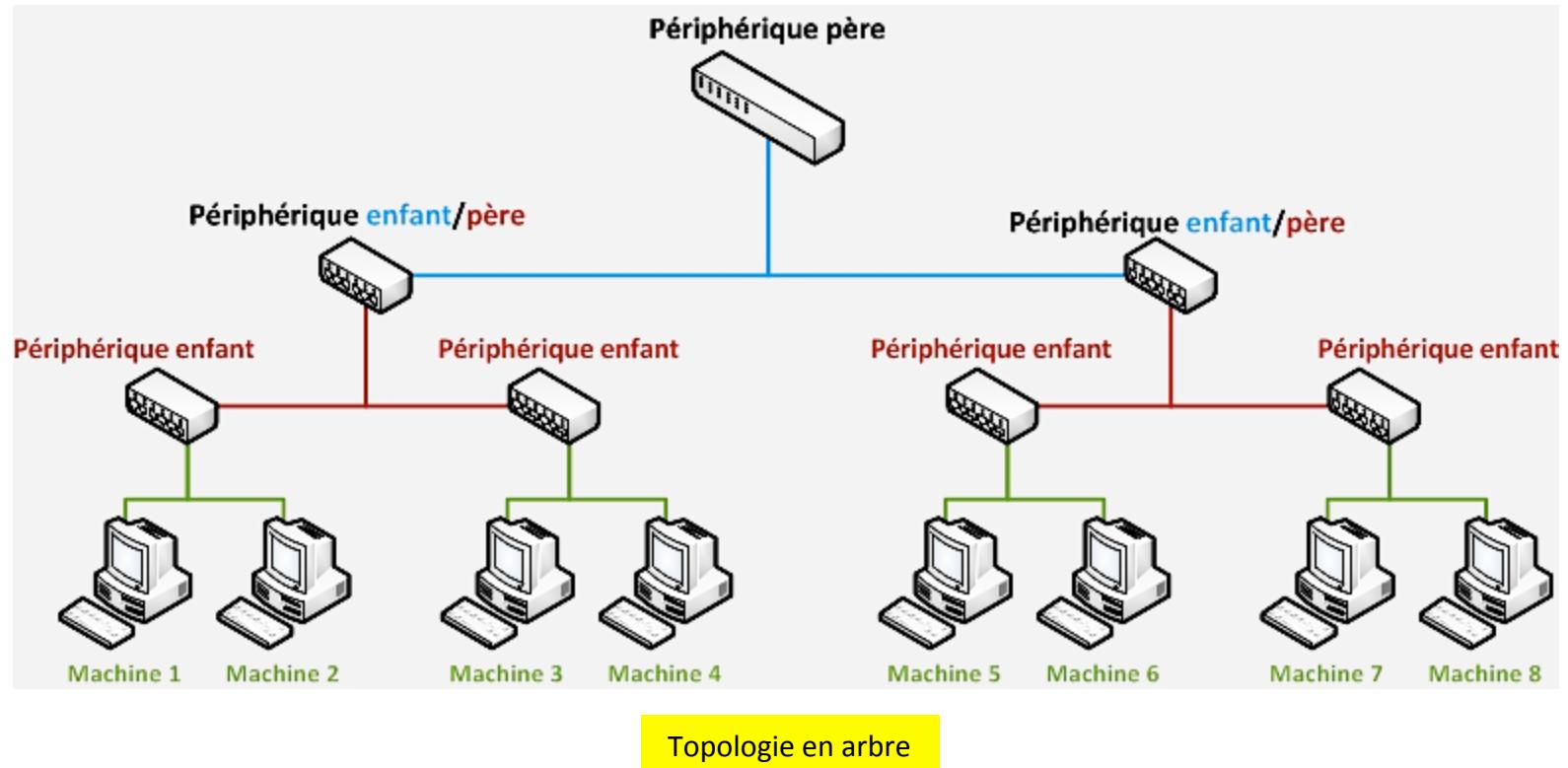


Topologie en anneau

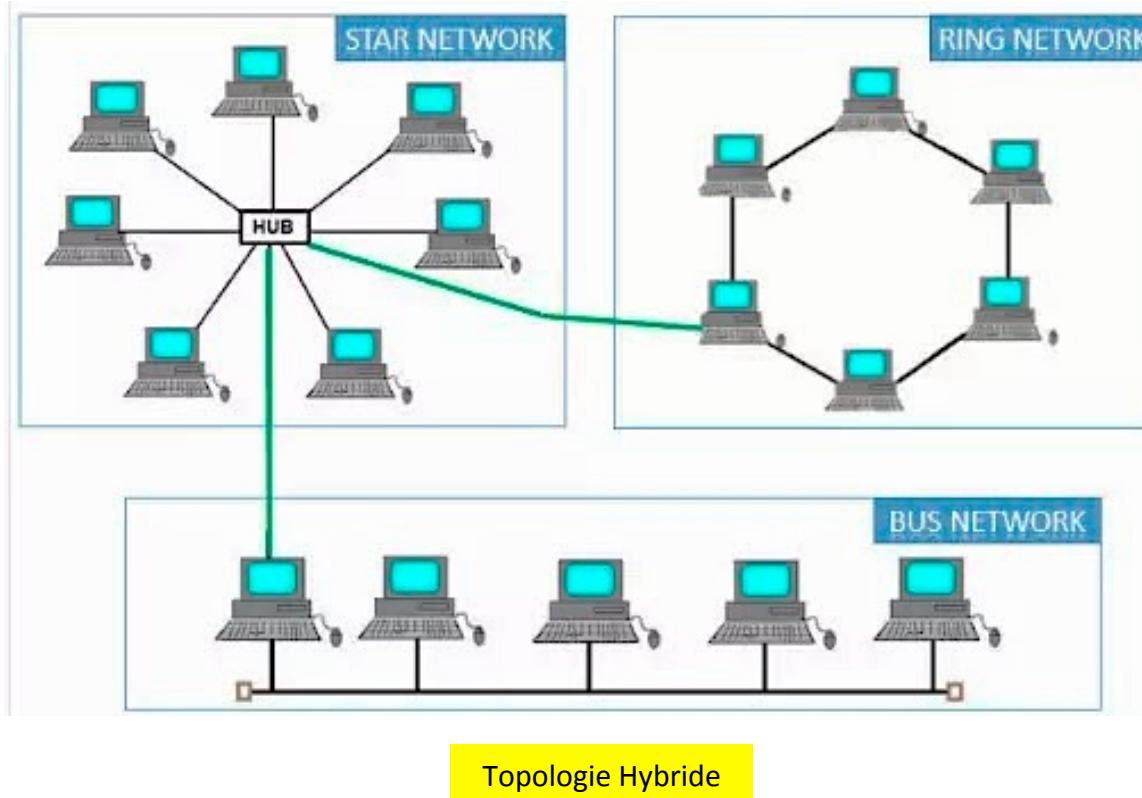


Topologie en étoile

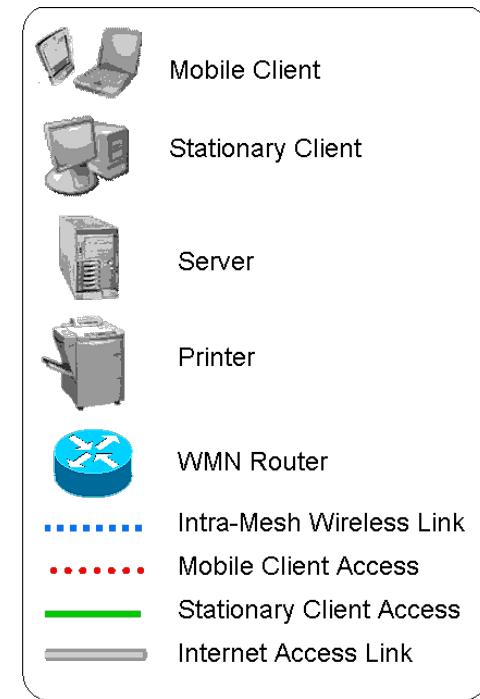
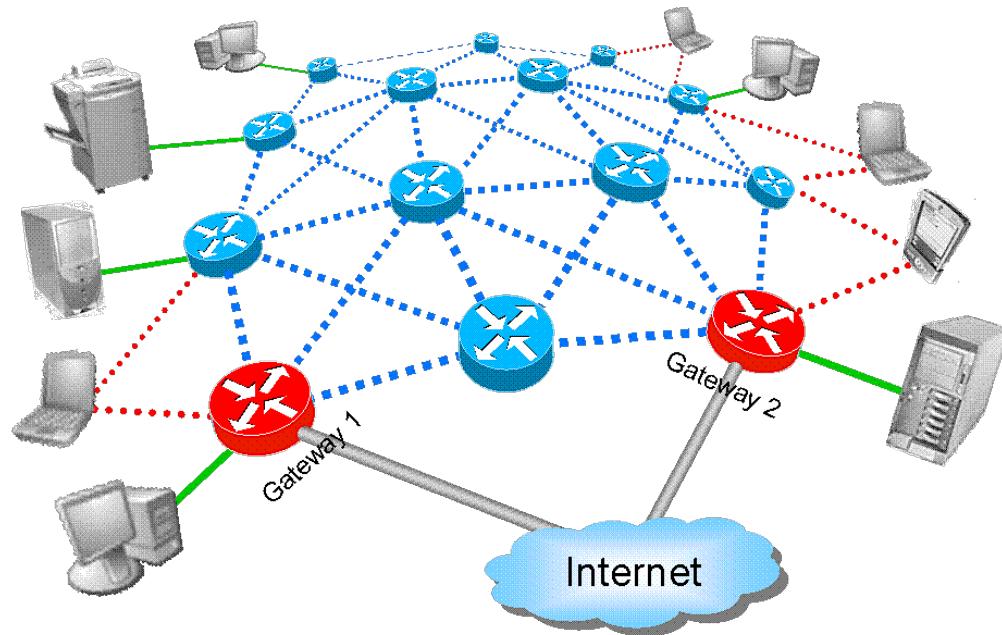
# Classification des réseaux selon la topologie



## Classification des réseaux selon la topologie



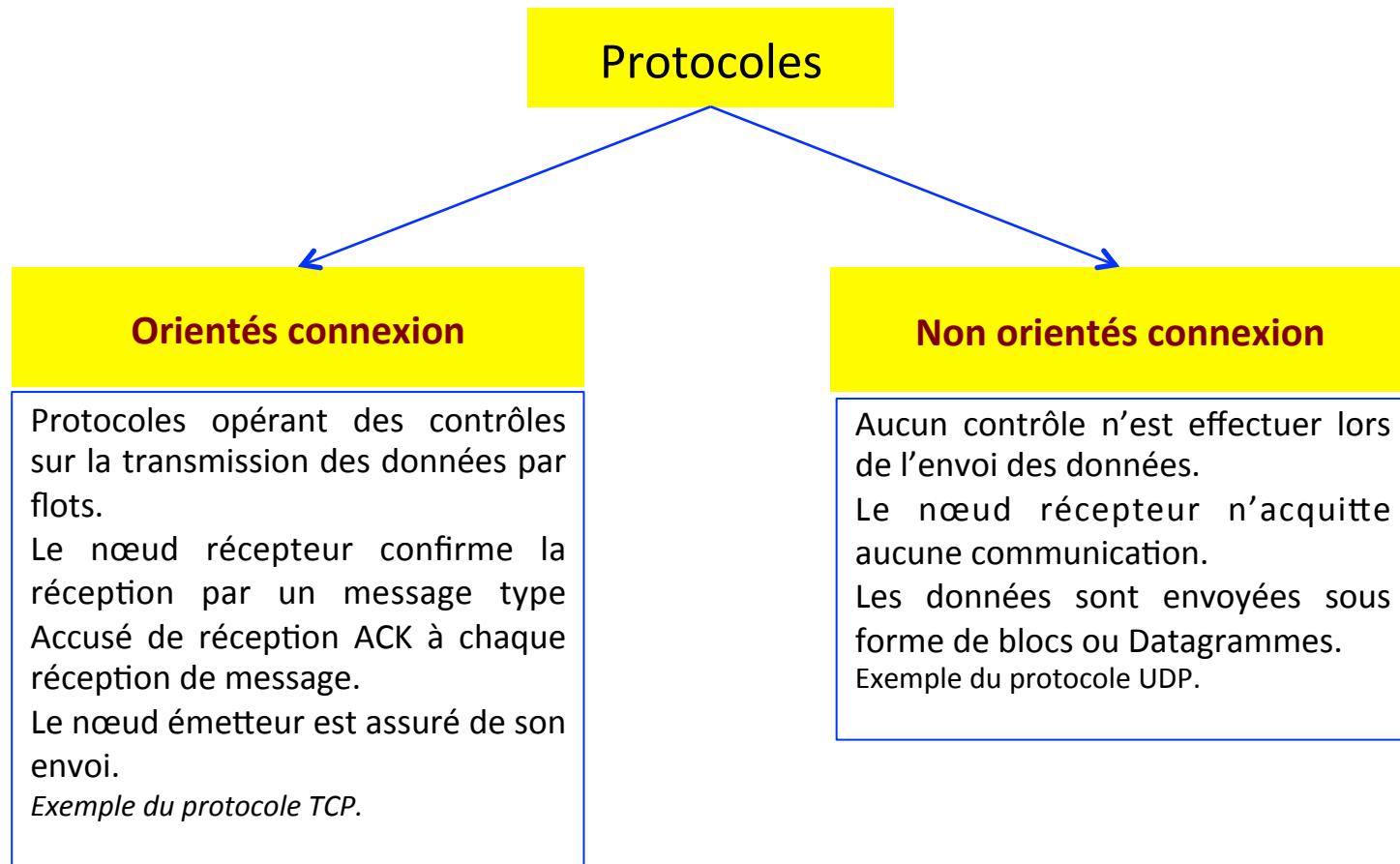
# Classification des réseaux selon la topologie



Topologie entièrement connectée MESH

# Communication dans les réseaux

- Utilisation de **méthode standard** afin d'assurer la transmission de l'information entre machines, i.e., Nœuds, tout en respectant un ensemble de règles ou de procédures à suivre : **PROTOCOLES**



## En résumé

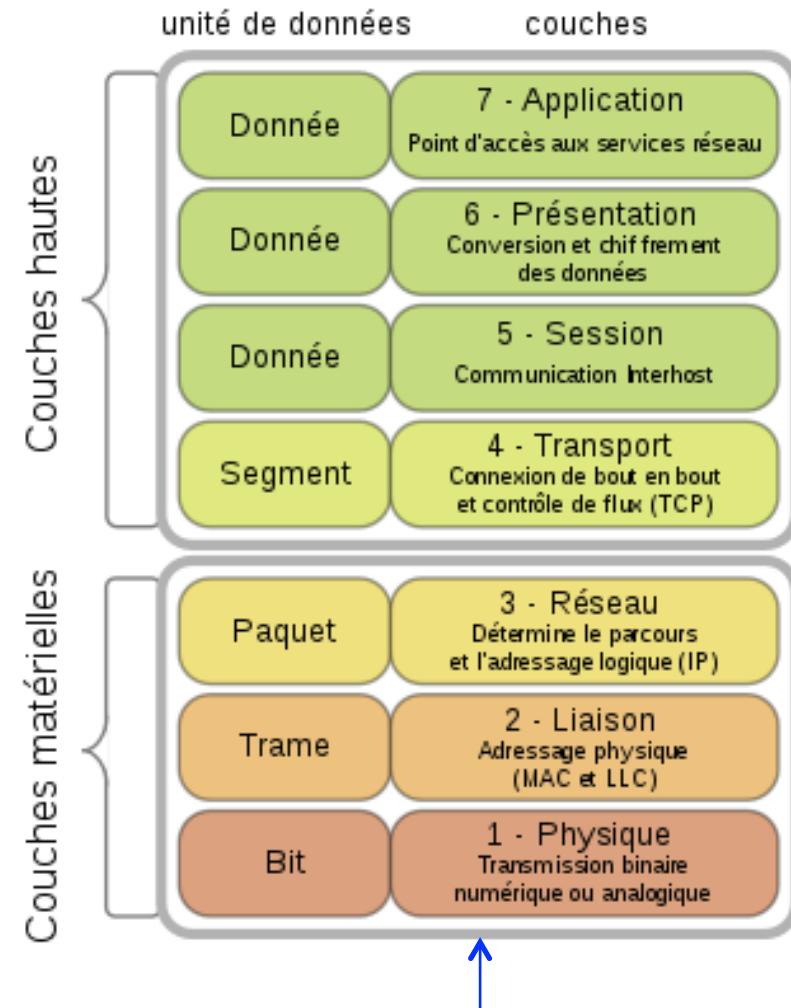
	Mode connecté	Mode non connecté
Exigence de connexion préalable	Requis	Non requis
Fiabilité	Assure un transfert fiable des données.	Pas garantie.
Allocation de ressources	Besoin d'être attribué.	Aucune allocation préalable de la ressource n'est requise.
Retard	Il y a un retard dans le transfert de l'information, mais une fois la connexion établie, la livraison peut être plus rapide.	En raison de l'absence de phase d'établissement de connexion, la transmission est plus rapide.
Transfert de paquets	Les paquets se déplacent séquentiellement vers leur noeud de destination et suivent la même route.	Les paquets atteignent la destination au hasard sans suivre le même itinéraire.
Signalisation	Utilisé pour l'établissement de la connexion.	Il n'y a pas de concept de signalisation.
Pertinence	Convient pour une communication longue et régulière.	Convient pour la transmission par salves.
Données perdues	Retransmission Faisable	Pratiquement, pas possible.
Mode de transfert	Il peut être mis en œuvre en utilisant la commutation de circuit et le circuit virtuel.	Il est implémenté en utilisant la commutation de paquets.
Congestion	Peu probable	ça arrive

Source : <https://waytolearnx.com/2018/07/difference-entre-mode-connecte-et-non-connecte.html>

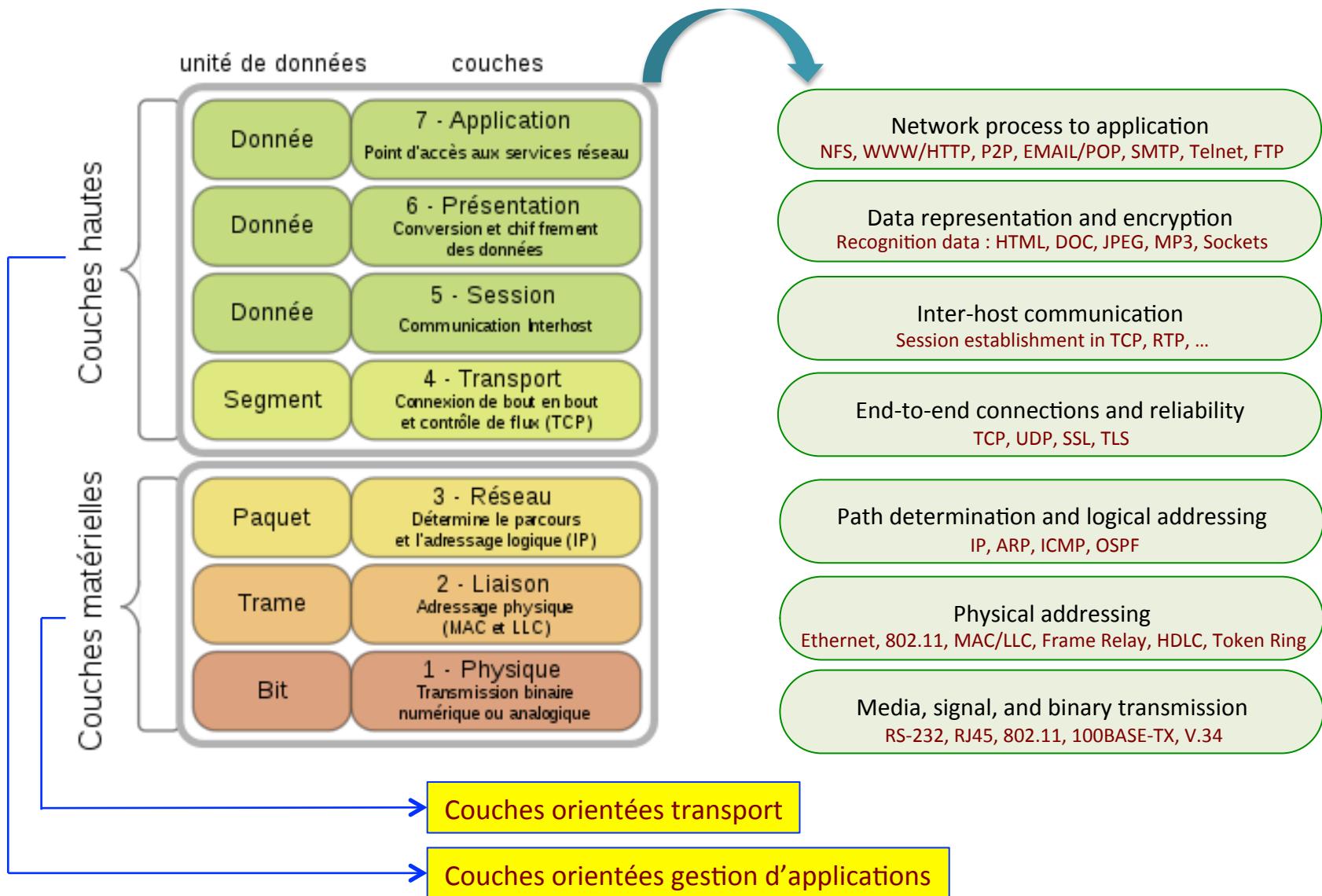
# Normalisation des communications

- Les années 70 : Plusieurs solutions propriétaires ont été développées
- Aucune interopérabilité
- BULL, IBM, ...
- Besoin de standardisation via International Standard Organization ISO
- Standardisation des communications à base d'un modèle **OSI** Open System Interconnection

## Modèle à 7 couches



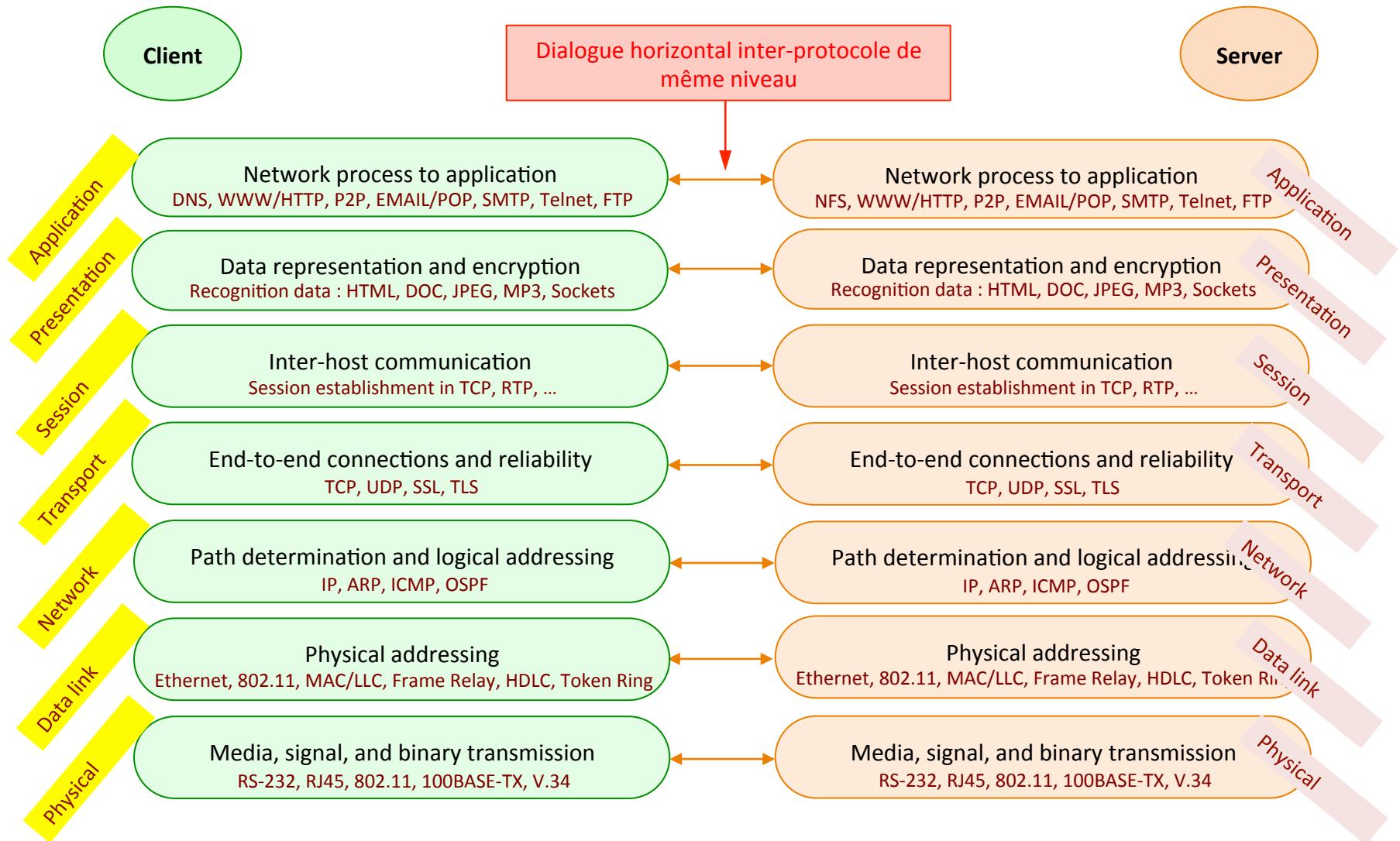
# Modèle OSI et pile protocolaire associée



Source : <https://community.fs.com/fr/blog/tcpip-vs-osi-whats-the-difference-between-the-two-models.html>

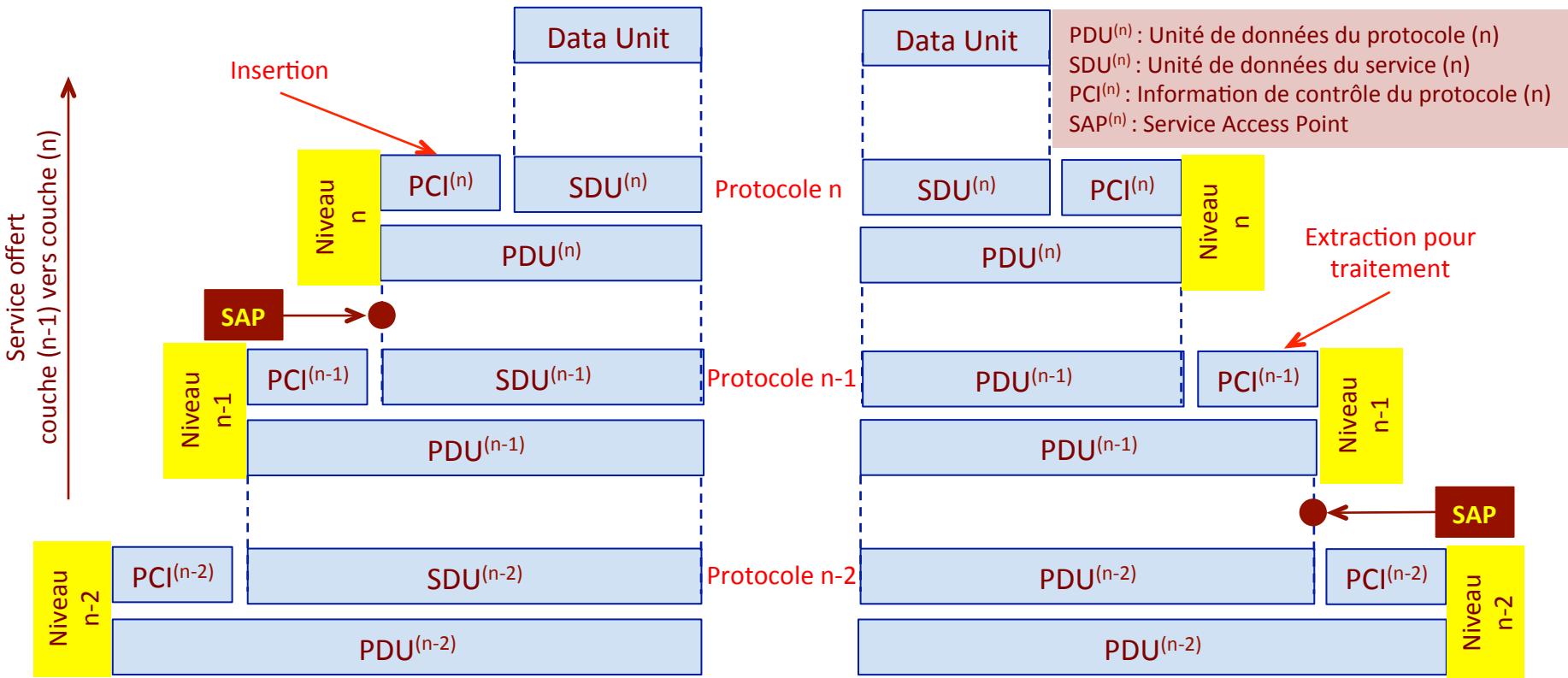
[https://fr.wikibooks.org/wiki/Les\\_r%C3%A9seaux\\_informatiques/Les\\_mod%C3%A8les\\_OSI\\_et\\_TCP](https://fr.wikibooks.org/wiki/Les_r%C3%A9seaux_informatiques/Les_mod%C3%A8les_OSI_et_TCP)

# Dialogue horizontal Source-Cible



# Dialogue vertical inter-couches

## Principe d'encapsulation des données



Primitives spécifiant les services par les SAP

Request : Une entité sollicite un service

Indication : Une entité est informée d'une demande de service

Response : Une entité a rendu le service, si possible

Confirmation : Une entité est informée que le service a été rendu

# Couche Application 7

Network process to application  
NFS, WWW/HTTP, P2P, EMAIL/POP, SMTP, Telnet, FTP

- Point d'accès aux services réseaux.
- Représentation des données, codage et contrôle de dialogue pour l'utilisateur tels les mécanismes de communication offerts aux applications utilisateur.
- Permet aux processus d'application les accès à l'environnement OSI et offre les différents services exploitable par l'application.
  - Transfert des données FTP, NFS, AFS, ...
  - Messagerie SMTP, POP, IMAP, ...
  - Session distante Telnet, SSH, ...
  - Interface utilisateurs HTTP
  - Exploitation, gestion et supervision DNS, SNMP

FTP : File Transfer Protocol

NFS : Network File System

AFS : Andrew File System

SMTP : Simple Mail Transfer Protocol

POP : Post Office Protocol

IMAP : Internet Message Access Protocol

SSH : Secure Shell

HTTP : HyperText Transfer Protocol

DNS : Domain Name System

SNMP : Simple Network Management Protocol

## Couche Présentation 6

Data representation and encryption  
Recognition data : HTML, DOC, JPEG, MP3, Sockets

- Représentation des données d'application et codage.
- Services offerts :
  - Vérification de la syntaxe et la sémantique des informations transportées.
  - Codage de l'information ASCII
  - Conversion, sérialisation et compression des données.
  - Chiffrement et déchiffrement

APF : Apple Filing Protocol pour le partage de fichier

ASCII : American Standard Code for Information Interchange

XML : Extensible Markup Langage pour le balisage

TLS : Transport Layer Security pour la sécurisation

HTML : HyperText Markup Langage

...

## Couche Session 5

Inter-host communication  
Session establishment in TCP, RPC, ...

- Synchronisation des dialogues et gestion des transactions entre les différentes entités applicatives.
- Utilisation d'un mécanisme de correction des erreurs.
- Service offert : Etablissement de connexion
  - Existence d'une correspondance parfaite **une session-une connexion transport**.
  - Plusieurs sessions successives établies sur une seule et même connexion.
  - Plusieurs connexions de transport successives sont nécessaires pour une seule et même connexion.

RPC : Remote Procedure Call pour communications distantes Client-server

SOCKS : Secured Over Credential-based Kerberos utilisant de sockets

DTLS : Datagram Transport Layer Security pour garantir la sécurité

AppleTalk : Protocole de communication d'Apple

...

## Couche Transport 4 (1/2)

End-to-end connections and reliability  
TCP, UDP, SSL, TLS

- Gestion des erreurs et contrôle des flux réseaux indépendamment du type de réseau déployé (principalement TCP et UDP).
- Assure en permanence des transferts transparents des messages entre utilisateurs de services en modes connecté et non-connecté.
- Offre une garantie de la qualité de service QoS rendue par la couche basse réseau.

TCP : Transport Control Protocol en mode connecté

UDP : User Datagram Protocol en mode non-connecté

SPX : Sequenced Packet eXchange pour les réseaux locaux Novell et autres

SCTP : Stream Control Transmission Protocol

...

## Couche Transport 4 (2/2)

End-to-end connections and reliability  
TCP, UDP, SSL, TLS

### Services offerts par la couche Transport

**Temps d'établissement de la connexion** durée écoulée entre l'émission d'une demande et la confirmation.

**Temps de transit** Temps écoulé entre l'envoi d'un message et sa réception effective.

**Probabilité d'établissement de la connexion** Durée écoulée entre l'émission d'une demande et sa confirmation.

**Débit de la liaison** Nombre d'octets utiles transféré en une seconde.

**Priorité** : Privilège de certaines connexions par rapport à d'autres (surtout en cas de surcharge).

**Protection** Permet à l'utilisateur d'interdire à un terminal tiers l'intrusion ou d'interférer dans d'autres communication (en cours).

**Taux d'erreurs signalées** Erreurs détectées par la couche réseaux.

**Taux d'erreurs résiduelles** Perte des messages.

**Résiliation** Probabilité de décider de la déconnexion suite un engorgement ou autres problèmes internes à la couche.

## Couche Réseau 3

Path determination and logical addressing  
IP, ARP, ICMP, OSPF

- Identification des différents réseaux interconnectés.
- Spécification des transfert d'information et synchronisation en fonction des topologies.
- Adressage.
  - Plat ou global.
  - Hiérarchique composée de plusieurs blocs – réseaux, sous réseaux, machines).
- Nommage et annuaire.
  - Simplifier la désignation des équipements et les dissocier de leurs positions géographiques.
  - Nommage plat (horizontal), hiérarchique (Arborescent)
- Routage d'information par découverte de chemins optimaux source-cible.
  - Statique, inondation, diffusion, le plus court chemin ou moindre coût ...

IP : Internet Protocol (IPv4, IPv6)

ARP : Address Resolution Protocol pour la traduction d'une adresse réseau en adresse couche liaison

ICMP : Internet Control Message Protocol pour véhiculer les messages d'erreur et de contrôle

OSPF : Open Shortest Path First utilisant l'algorithme Dijkstra pour déterminer les plus courts chemins

RIP : Routing Information Protocol utilisant l'algorithme de Bellman-Ford pour calculer les meilleures distances

IGRP : Internet Group Management Protocol pour déterminer dynamiquement les groupes multicast dans un sous-réseau

...

## Couche Liaison de données 2 (1/6)

Physical addressing  
Ethernet, 802.11, MAC/LLC, Frame Relay, HDLC, Token Ring

- Répond aux demandes de services provenant de la couche de réseau et réalise leur fonction par l'envoi de demandes de services à la couche physique.
- Transfert des données entre nœuds adjacents d'un réseau étendu (WAN) ou entre des nœuds d'un même réseau local (LAN).
- Détection et correction des erreurs provenant de la couche physique.
- Arbitrage et gestion d'accès au média de communication.

Token Ring : Anneau à jeton

Frame Relay : Relayage de trame dans les réseaux WAN (intersites)

HDLC : High-level Data Link Control pour délimiter les différents types de trame avec contrôle d'erreurs

PPP : Point-to-Point Protocol utilisé pour établir des liaisons entre deux hôtes

...

## Couche Liaison de données 2 (2/6)

Physical addressing  
Ethernet, 802.11, MAC/LLC, Frame Relay, HDLC, Token Ring

### Sous-couche LLC (Logical Link Control )

- Contrôle de la liaison logique
- Encapsulation des paquets de données de la couche réseau dans des trames
- Synchronisation des trames et multiplexage des protocoles fonctionnant au-dessus de la couche de liaison de données
- Contrôle de flux, accusé réception et correction d'erreur.
- Spécification des mécanismes d'adressage des stations sur le support de transmission et de contrôle des échanges des données source-cible.

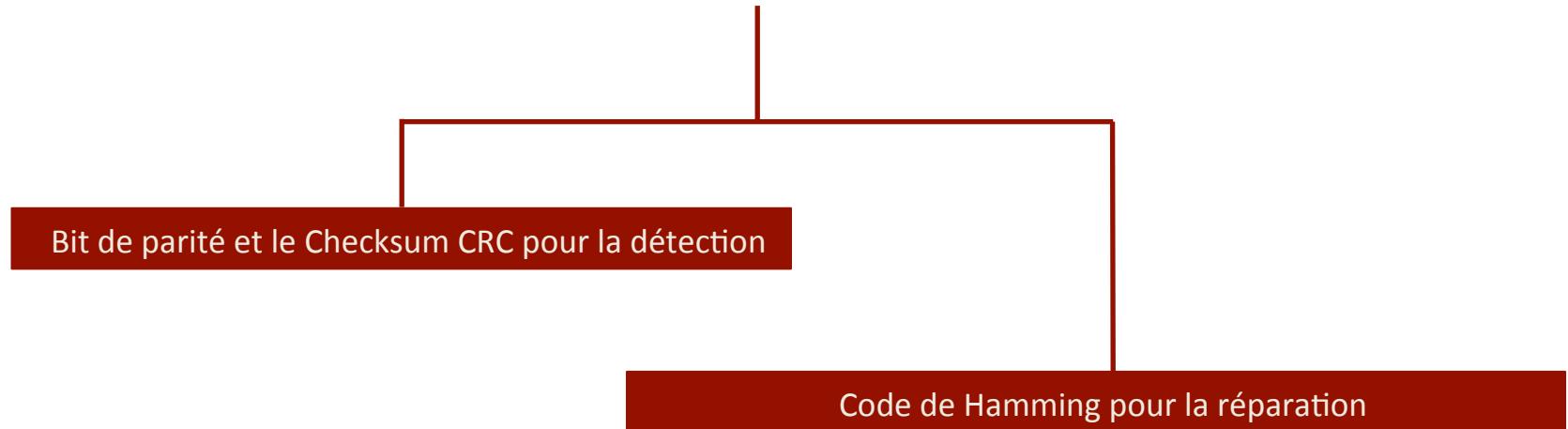
### Sous-couche MAC (Medium Access Control )

- Accès multiple pour le contrôle d'accès au canal :
  - CSMA/CD pour la détection de collision et la retransmission dans les réseaux filaires.
  - CSMA/CA pour l'évitement des collisions dans les réseaux sans-fil.
- Adressage physique (@MAC)
- Commutation des paquets avec filtrage MAC (Topologie)
- La gestion de files d'attente et ordonnancement des paquets de données.
- Gestion et contrôle de la Qualité de service (QoS).
- Mise en œuvre de LAN virtuels (VLAN) pour l'optimisation des réseaux.

# Couche Liaison de données 2 3/6

Physical addressing  
Ethernet, 802.11, MAC/LLC, Frame Relay, HDLC, Token Ring

## Detection et correction des erreurs



## Couche Liaison de données 2 (4/6)

Physical addressing  
Ethernet, 802.11, MAC/LLC, Frame Relay, HDLC, Token Ring

### Bit de parité et le Checksum CRC pour la détection

- Ajout à chaque bloc transmis composé de  $b$  bits (7 à 8 bits) un bit de parité de telle sorte que les  $b+1$  bits dont l'état binaire et à 1 soit toujours pair.
- Le nombre d'erreurs pouvant être détecté dans un même bloc est de  $2n + 1$ , avec  $n$  un entier naturel.

### Bit de parité et le Checksum CRC pour la détection

- Ajout à chaque bloc transmis composé de  $b$  bits un nombre de bits formant des combinaisons linéaires des bits de l'information à transmettre.
- Ne dépend pas de la taille des données à transmettre.
- Utilise un circuit simple à base de registres à décalage et des portes XOR.
- Série de divisions polynomiales avec des coefficients 0 et 1.
- Nécessite des polynômes générateurs.

## Algorithme de calcul du CRC pour la détection

- Considérons  $b$  ( $b_{k-1}, b_{k-2}, \dots, b_1, b_0$ ) bits formant une information à transmettre.
- Définissons un polynôme  $P_I$  tel que :

$$P_I(x) = b_{k-1}x^{k-2} + b_{k-2}x^{k-2} + \dots + b_1x + b_0 \quad (b_i = 0 \text{ ou } 1)$$

- Lors de la transmission, utilisons un polynôme générateur, soit  $G_r$  de degrés  $r$ .
- Calculons le quotient  $Q$  et le reste  $R$  de la division du produit  $x^r P_I(x)$  par  $G_r$ .
- Emission des éléments binaires correspondant au polynôme  $P_{Ir}(x) = P_I(x) + R(x)$ .
- A la réception, diviser le polynôme  $P_{Ir}(x)$  par  $G_r$ .
  - SI le reste de la division est NUL => La transmission est faite sans erreur.
  - SI le reste est NON NUL => Erreur dans la transmission.

## Quelques exemples de polynômes générateurs

- Standard CCITT :  $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$
- CRC-16 sur HDLC :  $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
- Comité IEEE 802 :  $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + 1$

## Couche Liaison de données 2 (6/6)

Physical addressing  
Ethernet, 802.11, MAC/LLC, Frame Relay, HDLC, Token Ring

### Code de Hamming pour la réparation d'erreurs

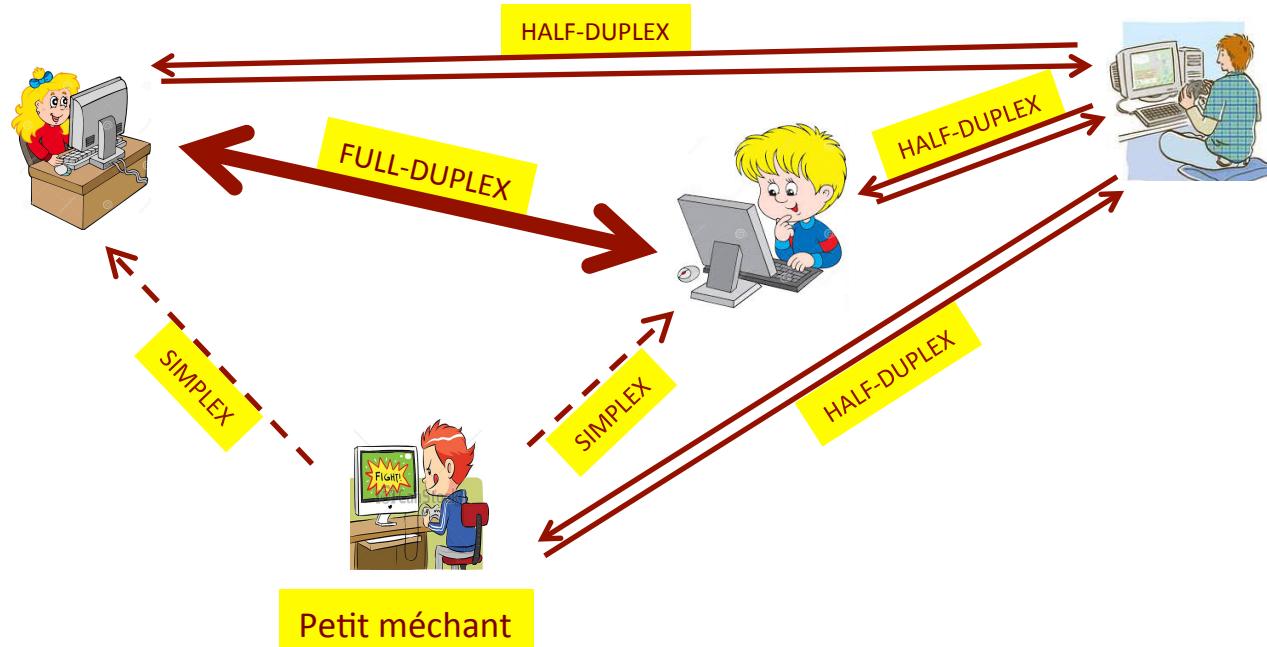
- Utilise la notion de distance.
- Ajoute de l'information pour la différentier, i.e., les caractères soient différents les uns des autres afin de les distinguer.
- Pour un ensemble de mots, la distance de Hamming  $d$  correspond au nombre minimal de bits de même rang qui diffèrent, on peut ainsi :
  - Déetecter  $(d-1)$  erreurs.
  - On peut apporter des corrections que s'il y a moins de  $(d-1)/2$  erreurs.

### Exemple d'émission d'un mot à 4 bits $b_0b_1b_2b_3$

- A l'émission, on construit le mot suivant :  $b_0b_1b_2P_2b_3P_1P_0$  (la position des  $P_i$  dans le mot correspond aux valeurs  $2^i$ )
  - $P_0 = b_0 \oplus b_2 \oplus b_3$       ( $\oplus$  : OU EXCLUSIF)
  - $P_1 = b_0 \oplus b_1 \oplus b_3$
  - $P_2 = b_0 \oplus b_1 \oplus b_2$
- A la réception, on calcule  $P_{2r}$ ,  $P_{1r}$  et  $P_{0r}$  tels que :
  - $P_{0r} = P_0 \oplus b_0 \oplus b_2 \oplus b_3$
  - $P_{1r} = P_1 \oplus b_0 \oplus b_1 \oplus b_3$
  - $P_{2r} = P_2 \oplus b_0 \oplus b_1 \oplus b_2$
- Si le résultat  $P_{0r} = P_{1r} = P_{2r}$ , alors pas d'erreur, si non la valeur binaire  $P_{0r}P_{1r}P_{2r}$  localise la position de l'erreur.
- Pour émettre 0010, on transmet le mot suivant : 0011001  
Si on reçoit le mot 0010001 on détermine la valeur  $P_{0r}P_{1r}P_{2r} = 100$  et dans ce cas, l'erreur est en **position 4**.

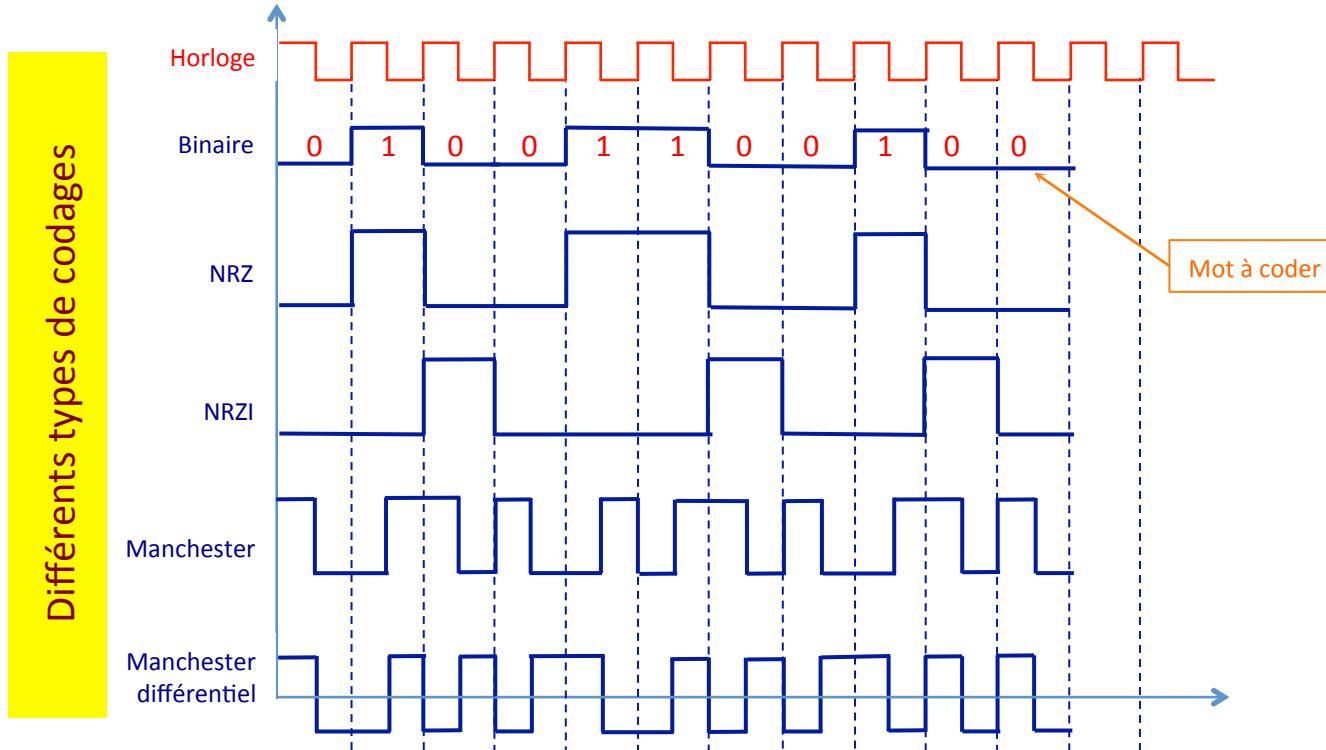
## Fonctionnalités

- Gestion et transmission effective des signaux électriques, radiofréquences ou optiques entre différents entités de liaisons.
  - Transmission **série** (bit-à-bit) ou **parallèle** (plusieurs bits à la fois).
  - Mode **synchrone** (en terme de temps source-cible) ou **asynchrone** (utilisation de caractères balises au début et à la fin d'une trame d'information).
  - **SIMPLEX** (Sens unique Source -> Cible).
  - **HALF-DUPLEX** (Dans les deux sens mais pas au même temps Source <-> Cible).
  - **FULL-DUPLEX** (Dans les deux sens ET au même temps Source <-> Cible).



## Autres fonctionnalités

- Conversion de l'information (binaire, signaux électriques ou optiques).
- Encodage et synchronisation des flux binaires, durée binaire, vitesse de transmission (bauds)...



## Types de codage

### Codage NRZ (Non-Return-to-Zero)

- Facilité de mise en œuvre.
- Mis en œuvre dans les liaisons type V.24 ou RS232 pour la communications séries.
- Codage à deux états (Pas d'état intermédiaire ).
- L'élément binaire **1** est représenté par un état significatif (i.e., tension positive), et le **0** par un autre état significatif (i.e., tension négative).
- Pas de transition lors du passage de 0 à 1 ou *vis versa* donc soucis au niveau de la synchronisation.

### Codage NRZI (Non-Return-to-Zero Inverted)

- Contrairement au codage NRZ, il permet une transition d'état si le bit est 1, et reste à l'état précédent si le bit est 0.
- Comme dans le cas du NRZ, facilité de mise en œuvre.
- Codage à deux états (Pas d'état intermédiaire ).
- L'élément binaire **1** est représenté par un état significatif (i.e., tension positive), et le **0** par un autre état significatif (i.e., tension négative).
- Pas de transition lors d'une longue séquence de 0, donc soucis au niveau de la synchronisation.

## Autres types de codage etc.

**Codage Manchester**

- Inversion du signal systématiquement au milieu de la période d'horloge afin de garantir l'impossibilité d'avoir un signal continu.
- Transmettre la valeur binaire 1 reflète front montant et un 0, pour le front descendant.
- Codage synchrone (les données à transmettre intègrent une horloge de synchronisation pour le décodage).
- Utilisable pour les liaisons filaire (10BASE-T, ...) et sans fil à courtes distances.

**Codage Manchester différentiel**

- Mise en œuvre simple, codage et décodage facile.
- Implémentation d'une fonction logique type OU exclusif entre l'horloge et les données.
- Dispose d'une transition à la mi-signal de d'horloge, avec inversion entre 2 bits pour transmettre un 0 et absence de transition pour transmettre un 1.
- Pas de composante continue donc pas de perte de synchronisation sur les suites de symboles identiques.

# Couche Physique 1 (5/5)

Media, signal, and binary transmission  
RS-232, RJ45, 802.11, 100BASE-TX, V.34

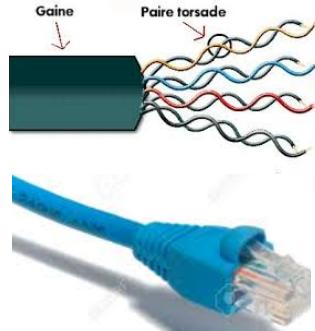
## Supports physiques de transmission

### Paire torsadée

Connecteur RJ45

Longueur : 100 m

Vitesse : 10 à 40 Gbits/s

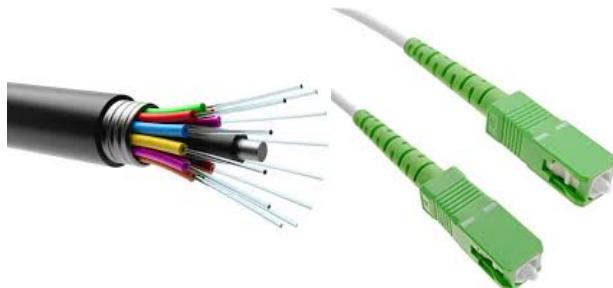


### Fibre optique

Connecteur LED / Photodiode

Longueur : quelques centaines de mètres

Vitesse : 40 à 100 Gbits/s



### Câble coaxial

Connecteur BNC

Longueur : quelques centaines de mètres

Vitesse : 10 à 40 Gbits/s

### Ondes hertziennes

Connecteur Antenne

Longueur : plusieurs mètres (Bluetooth)

à quelques milliers de km (satellite)

Vitesse : selon la technologie



# Modèle TCP/IP

- Modèle à 4 couches avec pile protocolaires plus ou moins identique pour certaines couches avec le modèle OSI.
- Chaque couche assure une fonction de maintenance et de service de la communication.

Modèle OSI	Périphérique / Description	Modèle TCP/IP
Application	 Services applicatifs au plus proche des utilisateurs	
Présentation	 Encode, chiffre, compresse les données utiles	
Session	 Etablit des sessions entre des applications	
Transport	 Etablit, maintien et termine des sessions entre des périphériques terminaux	Application
Réseau	 Adresse les interfaces globalement et détermine les meilleurs chemins à travers un inter-réseau	Transport
Liaison de Données	 Adresse localement les interfaces, livre les informations localement, méthode MAC	Internet
Physique	 Encodage du signal, câblage et connecteurs, spécifications physiques	Accès au Réseau

# Modèle TCP/IP

## En résumé

### Application

- Elle est la couche de communication qui s'interface avec les utilisateurs.
- S'exécute sur les machines hôtes terminales.

### Transport

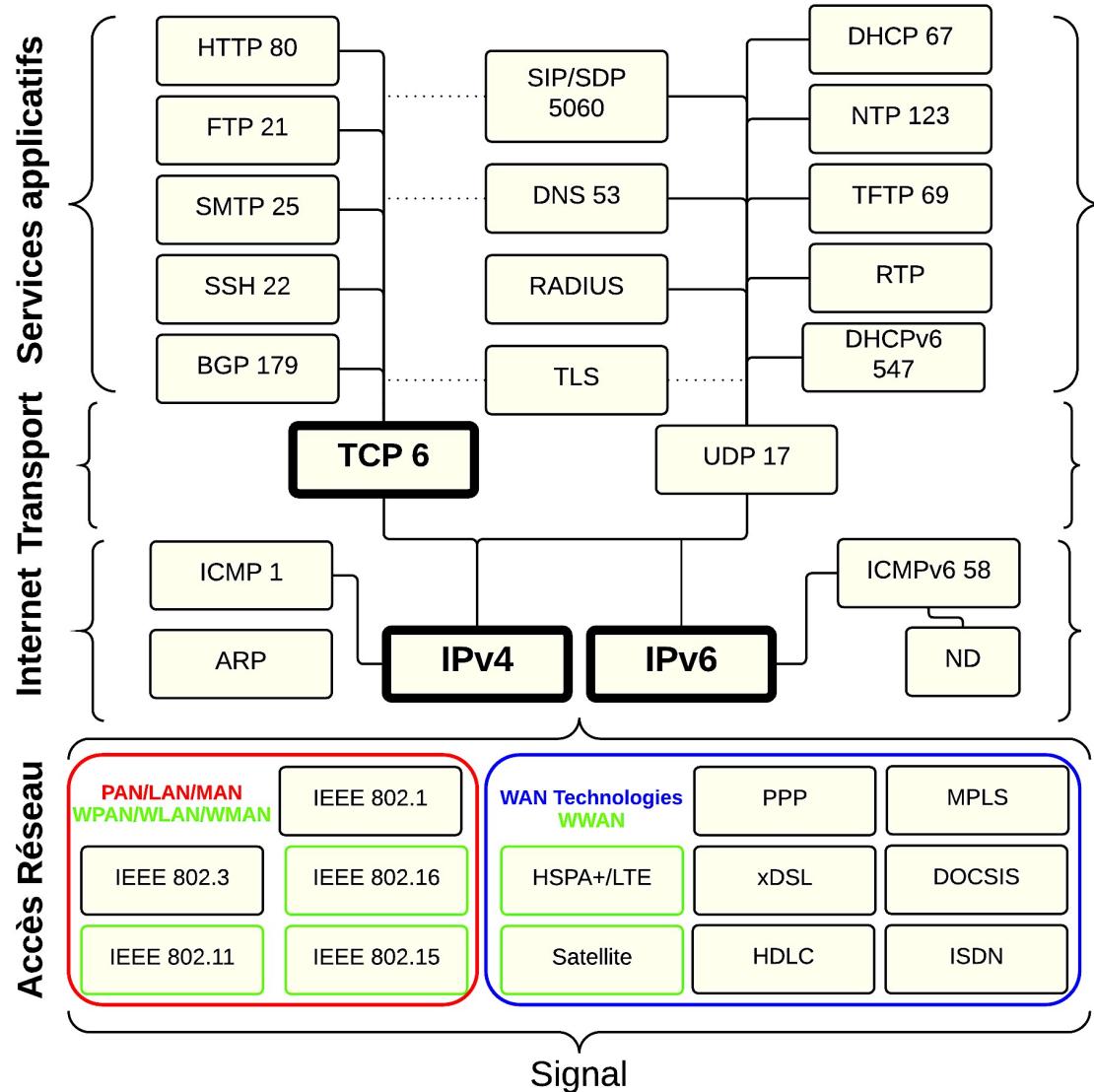
- Elle est responsable du dialogue entre les hôtes terminaux d'une communication.
- Les applications utiliseront TCP pour un transport fiable et UDP sans ce service.
- Les routeurs NAT et les pare-feu opèrent un filtrage au niveau de la couche transport.

### Internet

- Elle permet de déterminer les meilleurs chemins à travers les réseaux
- Identifie globalement les interfaces
- Les routeurs transfèrent le trafic IP qui ne leur est pas destiné.

### Accès réseau

- Elle organise le flux binaire
- identifie physiquement les interfaces
- Elle règle la méthode d'accès au support
- Elle place le flux binaire sur les support physique
- Commutateurs, câbles, NIC,



# Sources et références

- P. KADIONIK  
Introduction aux réseaux et à Internet. Programmation réseaux  
ENSEIRB-MATMECA pk/enseirb-matmeca/2017 v1.6
- Géraldine Del Mondo  
<https://docplayer.fr/8848979-Nicolas-delestre-et-geraldine-del-mondo.html>
- N. Delestre  
<http://asi.insa-rouen.fr/enseignants/~delestre/>
- P. Nicolas  
Cours de réseaux de la maîtrise de l'université d'Angers.  
<http://www.info.univ-angers.fr/pub/pn>, 2004.
- C. Servin.  
Réseaux et Télécoms.  
Dunod, Sciences SUP, 2003. ISBN 2-10-007986-7.
- A. Tanenbaum.  
Réseaux  
4<sup>ème</sup> édition. Pearson Education, 2003. ISBN 2-7440-7001-7.
- F. Goffinet  
Sources : <https://cisco.goffinet.org/ccna/fondamentaux/modeles-tcp-ip-osi/>