

Introduction aux réseaux

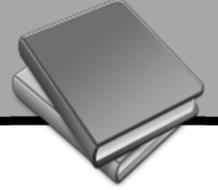
Christian Bulfone

christian.bulfone@gipsa-lab.fr

www.gipsa-lab.fr/~christian.bulfone/MIASHS-DCISS



Master MIASHS/DCISS
Année 2024/2025



- Quelques ouvrages généraux
 - Andrew Tanenbaum - RESEAUX Architectures, protocoles, applications
 - basé sur le modèle OSI
 - Guy Pujolle - Les Réseaux
 - s'attaque aux technologies plus récentes,
 - bonne bibliographie
- Internet

Plan du cours

- Vocabulaire, classification, architecture
- Aspects matériels des réseaux
- Formats d'adressage et de trames

Vocabulaire, classification, architecture



Introduction

- Quand sont-ils nés ?
 - Les premiers essais de transmission de données entre 2 ordinateurs ont eu lieu dans les années 60
 - A la fin des années 70, apparaissent des réseaux de terminaux ainsi que des réseaux d'ordinateurs
- A quoi servent-ils ?
 - partage de ressources,
 - programmes, équipements,
 - échange de données,
 - fiabilité (tolérance aux pannes),
 - systèmes distribués

Définitions & vocabulaire

- **Téléinformatique**

- association du traitement de l'information (domaine propre à l'ordinateur) et du transport de l'information (domaine des télécommunications)

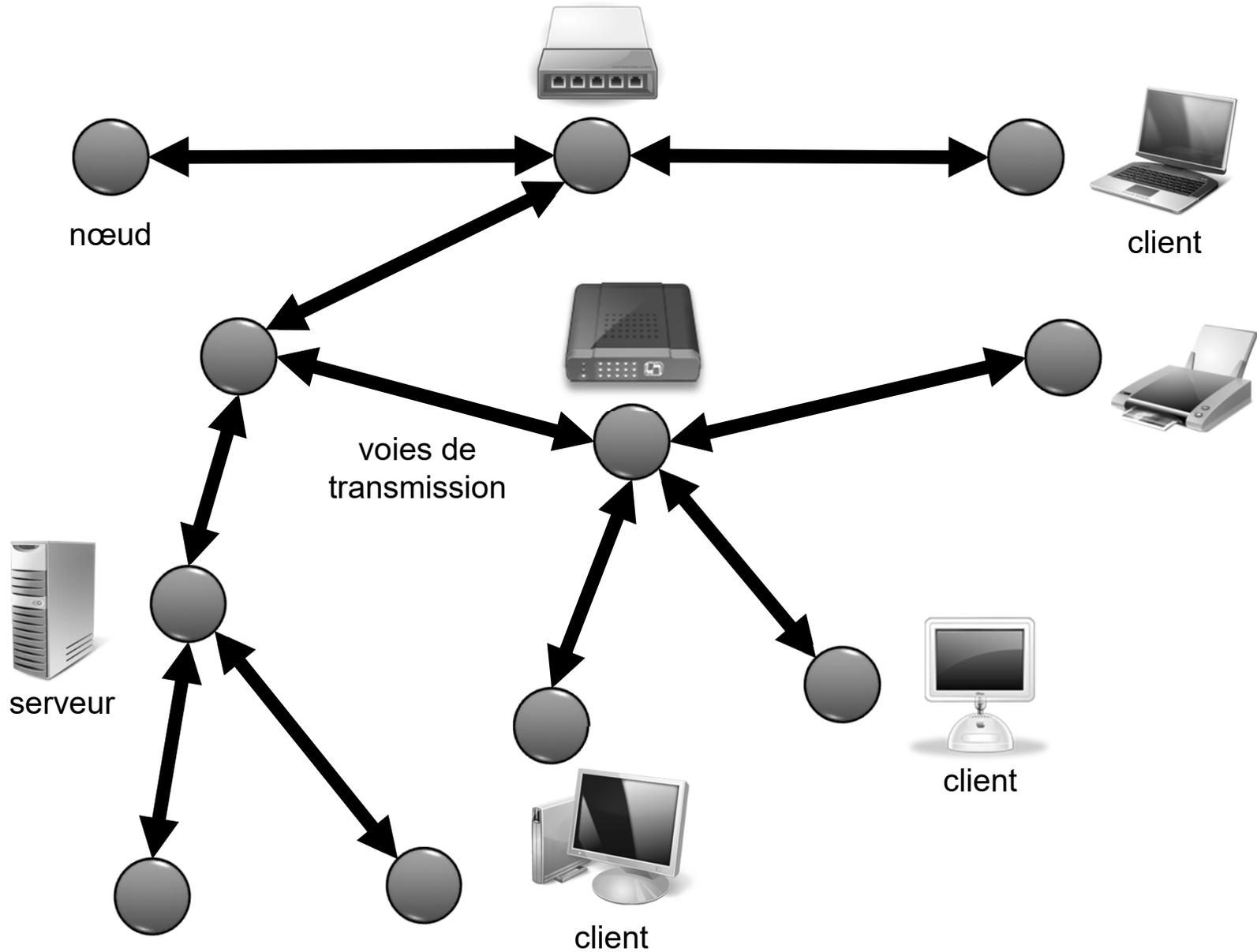
- **Réseau**

- organisation des connexions, appelées canaux ou voies de transmission, entre les différents nœuds d'un système téléinformatique
 - 2 grandes catégories de nœuds
 - ordinateurs au sens large
 - équipements remplissant des fonctions spécifiques dans le réseau

Définitions & vocabulaire

- **Topologie**
 - localisation des nœuds et agencement des liens entre ces nœuds
- **Carte adaptateur**
 - dénommée aussi coupleur (NIC : *Network Interface Card*) ou carte réseau
 - permet la connexion physique d'une machine à un réseau local
- **Architecture Client-Serveur**
 - une machine au sein du réseau (le serveur) a un rôle particulier dans la gestion de la communication
 - elle offre un ou plusieurs services aux autres machines (les clients)

Réseau informatique



Les débits

- Unités :
 - le baud
 - bit par seconde
 - Kbit/s
 - Mbit/s ou Mb/s
 - Gb/s
 - Tb/s



- *1 octet = 8 bits*
- *1 Ko = 1024 octets (2^{10} octets)*
- *1 Ko = $1024 * 8 = 8192$ bits \approx 8 Kb*

Les débits

- Connexion parallèle (ordinateur/imprimante)
 - de l'ordre de 115 Kb/s
- Connexion série sur un PC
 - de 75 bit/s à 921 Kb/s
 - connexion Internet par modem de 14,4 à 56 Kb/s
- Réseau local : 100 Mb/s et 1 Gb/s
- Epines dorsales de réseaux (backbone)
 - jusqu'à 10 Gb/s
- Réseaux spécialisés et/ou expérimentaux
 - plusieurs Tb/s

Transport de l'information

- Le but d'un réseau est d'échanger des informations d'une entité à une autre via un canal de transmission
 - Chacune peut être à la fois émettrice et réceptrice
- Pour que l'échange des données fonctionne
 - un codage des signaux de transmission doit être choisi
 - des règles communes régissant la communication doivent être adoptées
 - notion de protocole

Eléments de transport de l'information

- 3 grands types de supports physiques
 - **filaires**
 - permettent de faire circuler une grandeur électrique sur un câble métallique
 - **aériens**
 - désignent l'air ou le vide
 - permettent la circulation d'ondes électromagnétiques ou radioélectriques diverses
 - **optiques**
 - permettent d'acheminer des informations sous forme lumineuse

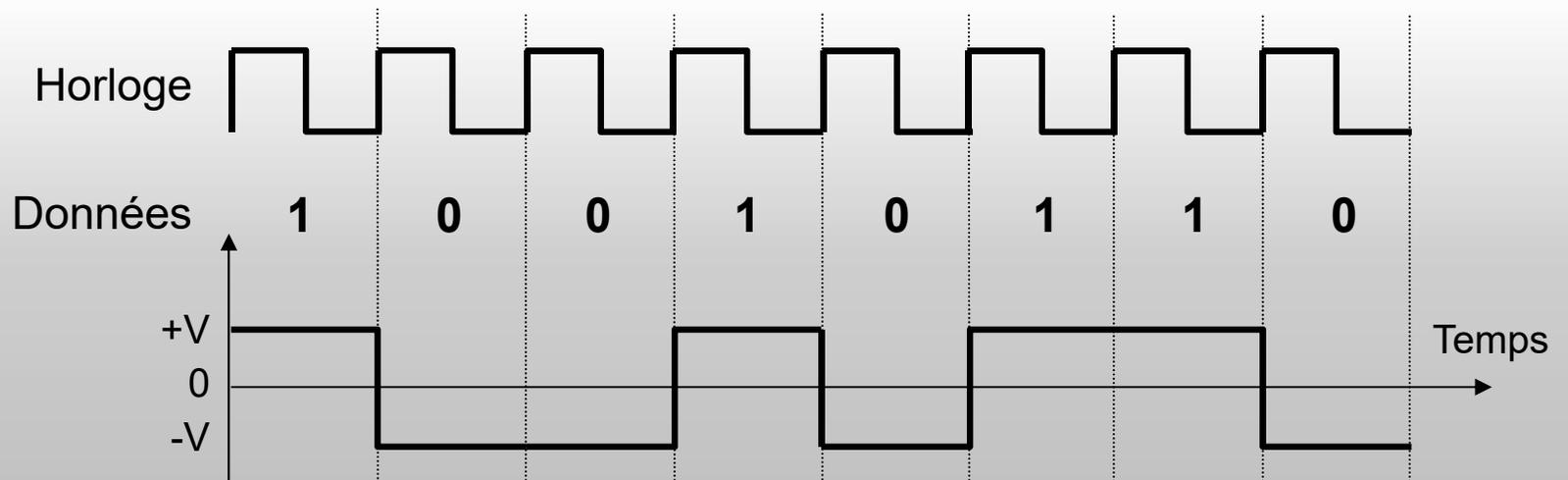
Codage des signaux

- Les bits à transmettre doivent être représentés sous forme de signaux électriques
- La méthode la plus simple est de considérer qu'un courant nul indique un 0 et un courant positif un 1
 - Méthode dite transmission en bande de base
 - Génère un signal en forme de créneaux, appelé parfois signal carré
- Avantages
 - Signal facile à réaliser
 - Ne demande que des équipements simples et peu coûteux, à l'émission comme à la réception
- Inconvénients
 - Dégradation très rapide des signaux en fonction de la distance parcourue
 - Doivent être utilisés que sur courtes distances ou être régénérés périodiquement sur une distance plus longue



Exemple de codage

- Codage NRZ (*Non Return to Zero*)
 - Premier système de codage
 - Le plus simple
 - Consiste à transformer les 0 en $-V$ et les 1 en $+V$
 - ➔ codage bipolaire dans lequel le signal n'est jamais nul
 - ☹ Deux bits successifs identiques se traduisent par un long plateau, posant des problèmes d'interprétation au récepteur



Sens de transmission

- Plusieurs possibilités de sens de transmission

- mode simplex

- transmission unidirectionnelle, de l'émetteur vers le récepteur



- mode *semi-duplex* (*half duplex*) ou *bidirectionnel à l'alternat*

- transmission dans les 2 sens possibles mais alternativement



- mode *duplex* (*full duplex*) ou *bidirectionnel simultanément*

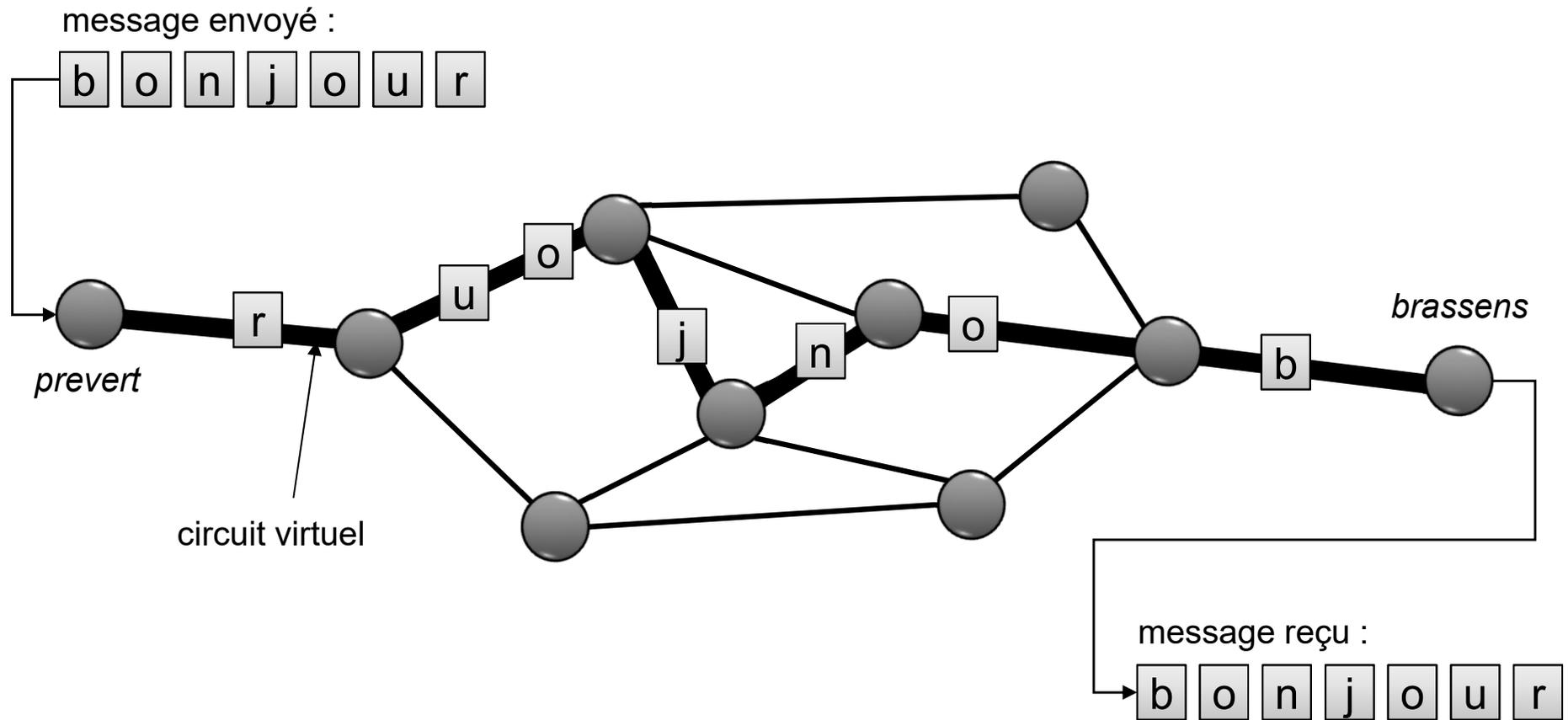
- transmission simultanée dans les deux sens



Mode d'acheminement : connecté / non connecté

- Mode connecté
 - Exemple du téléphone
 - Type de fonctionnement obligeant un émetteur à demander à un récepteur la permission de lui transmettre des blocs d'informations
 - Le récepteur a le choix d'accepter ou de refuser la connexion
 - Fait appel à 3 phases distinctes
 - Négociation et établissement de la liaison entre les deux entités
 - Transfert des données de l'utilisateur d'une entité à l'autre
 - Libération de la connexion
 - Avantages
 - Garantit un transport fiable de l'information
 - Permet de définir une certaine qualité de service (QoS)
 - Inconvénients
 - Nécessite la mise en place d'une connexion même pour envoyer quelques octets
 - Multi-diffusion difficile à mettre en œuvre

Mode connecté

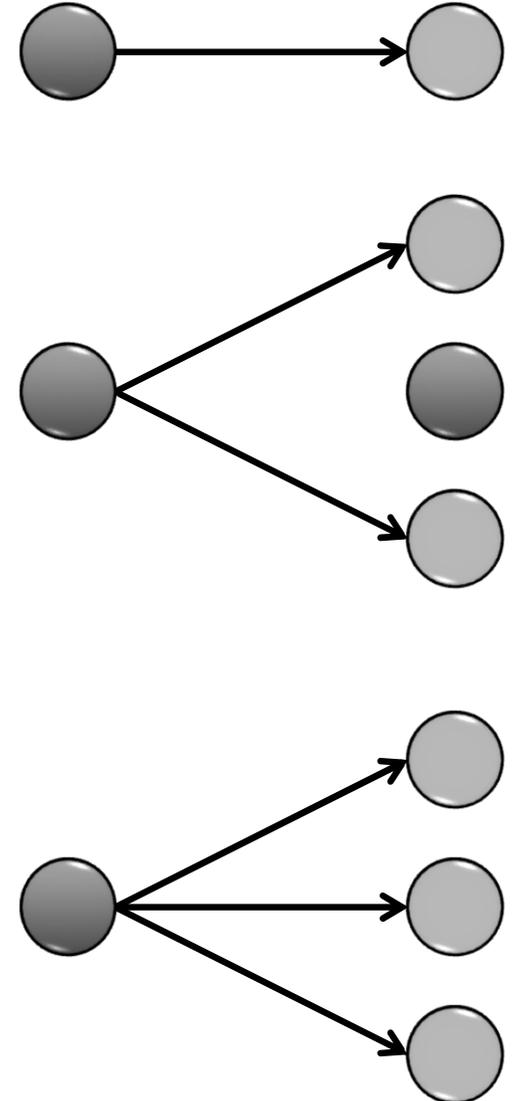


Mode d'acheminement : connecté / non connecté

- **Mode non connecté**
 - Exemple du courrier
 - Type de fonctionnement dans lequel un émetteur peut envoyer de l'information vers un récepteur sans lui demander d'autorisation préalable
 - Chaque message comporte l'adresse de l'émetteur et l'adresse du destinataire et est transporté indépendamment de tous les autres
 - Mode plus intéressant pour le transport des messages courts

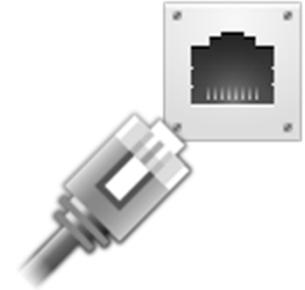
Les types d'adressage

- Une *adresse* permet de joindre un ou plusieurs nœuds sur un réseau
- 3 types d'adressage :
 - *Unicast*
 - Concerne un seul nœud
 - *Multicast*
 - Concerne un groupe de nœuds
 - *Broadcast*
 - Concerne tous les nœuds

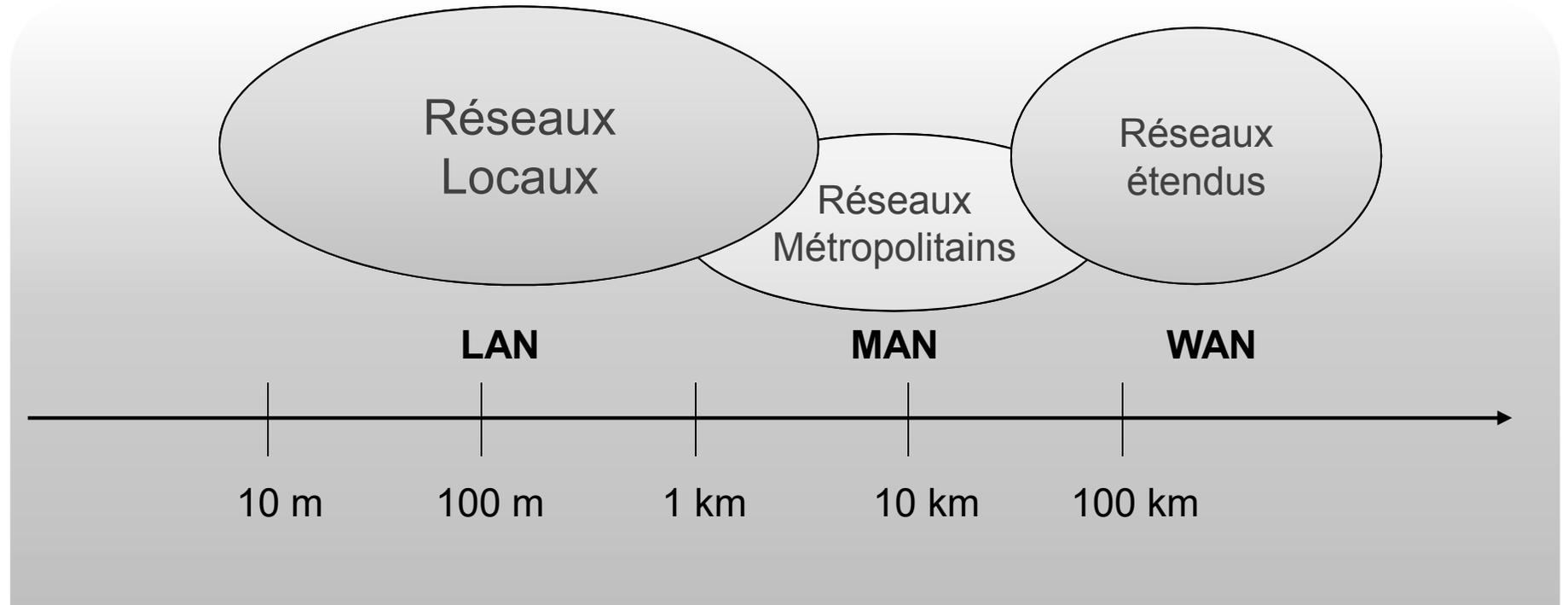


Classification des réseaux

- On distingue
 - Les réseaux filaires
 - LAN
 - MAN
 - WAN
 - Les réseaux sans-fil (*Wireless*)
 - WPAN
 - WLAN
 - WMAN
 - WWAN



Les réseaux filaires



LAN : *Local Area Network*

MAN : *Metropolitan Area Network*

WAN : *Wide Area Network*

Les réseaux filaires de type LAN

- Réseau adapté à la taille d'un site d'entreprise et dont les points les plus éloignés ne dépassent pas quelques km de distance
- Les LAN (constitués des éléments actifs, du câblage et des interfaces réseau) sont presque toujours la propriété de la société utilisatrice (domaine privé)
- Offre des débits de 100 Mbit/s jusqu'à 1 Gbit/s
- Ethernet (IEEE 802.3) est la technologie LAN la plus répandue aujourd'hui
- Autre technologie : Token-Ring (IEEE 802.5)

Les réseaux filaires de types MAN

- Réseaux métropolitains
- Offrent une couverture géographique théoriquement de l'ordre de la dimension d'une grande ville ou d'une plaque régionale (≈ 100 km)
- Permettent d'interconnecter plusieurs LAN
- Se situent entre le secteur privé et le secteur public
- Les réseaux FDDI ou ATM composent cette catégorie

Les réseaux filaires de type WAN

- Réseaux étendus
- Se situent à l'échelle d'une région, d'un pays, d'un continent et de la planète
 - Essentiellement des grands réseaux de fibres optiques
- Le WAN est aujourd'hui systématiquement loué à l'entreprise par une entité opérateur national ou international
 - Hormis les caractéristiques techniques concernant les distances, c'est ce qui le différencie totalement du LAN

Les réseaux sans fil

- Comme pour les réseaux filaires, il existe différents types de réseaux sans fil
 - les réseaux personnels ou WPAN (*Wireless Personal Area Networks*),
 - les réseaux locaux ou WLAN (*Wireless Local Area Networks*),
 - les réseaux métropolitains ou WMAN (*Wireless Metropolitan Area Networks*)
 - les réseaux nationaux ou WWAN (*Wireless Wide Area Networks*)

Les réseaux sans fil de type WPAN

- Réseaux sans fil de faible portée (quelques dizaines de mètres) à usage personnel
- Présents sous différents noms
 - Bluetooth (norme 802.15.1)  **Bluetooth®**
 - Composants Bluetooth présents dans beaucoup d'ordinateurs portables et de nombreux périphériques (appareils photos, téléphones portables, assistants personnels ...)
 - ZigBee (norme 802.15.4)



Les réseaux sans fil de type WLAN

- Dénommé Wireless LAN ou RLR (*Réseau Local Radioélectrique*)
- Réseaux en pleine expansion même si leur performances sont inférieures à celles des LAN filaires
 - Plus connus sous le label Wi-Fi
 - Offrent des débits de plusieurs Mbit/s à plusieurs centaines de Mbit/s
- Avantages
 - Mobilité
 - Simplicité d'installation
 - Topologie flexible
 - Coûts d'installation et de maintenance quasi nuls
 - Interconnectivité avec les LAN existants
 - Fiabilité

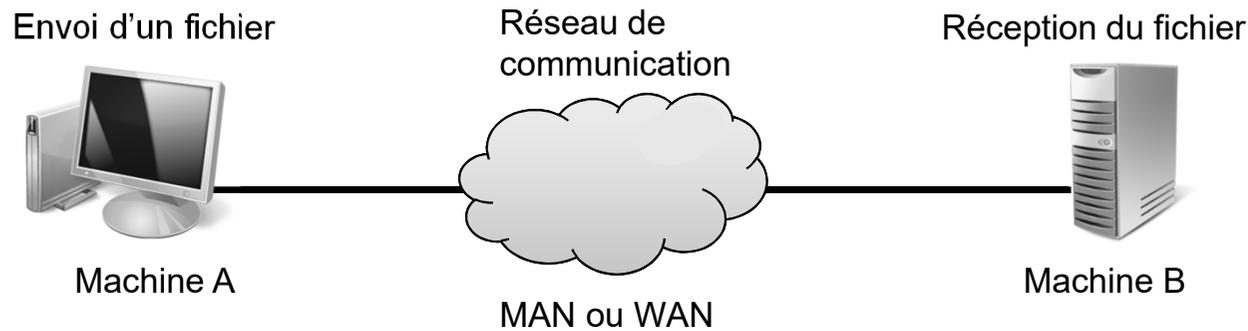
Les réseaux sans fil de type WMAN

- Réseau connu sous le nom de **Boucle Locale Radio (BLR)**
- Les WMAN sont basés sur la norme IEEE 802.16
 - Mieux connus sous le label WiMax
 - Débits en nomade ou stationnaire jusqu'à 1 Gbit/s et 100 Mbit/s en mobile grande vitesse (802.16m)
 - Technologie principalement destinée aux opérateurs de télécommunication

Les réseaux sans fil de type WWAN

- Bien que pas connus sous ce nom, ce sont aujourd'hui les réseaux sans fil les plus utilisés en France
 - GSM (*Global System for Mobile Communication*),
 - GPRS (*General Packet Radio Service*)
 - UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) ou 3G
 - LTE Advanced (*Long Term Evolution-Advanced*) ou 4G
 - 5G

Des protocoles et des architectures de réseaux ?



- Avant l'envoi des premiers octets du fichier, la machine source doit :
 - accéder au réseau,
 - s'assurer qu'elle peut atteindre la machine destination en donnant une adresse,
 - s'assurer que la machine destination est prête à recevoir des données,
 - contacter la bonne application sur la machine destination,
 - s'assurer que l'application est prête à accepter le fichier et à le stocker dans son système de fichiers
- Pendant le transfert, les 2 machines doivent :
 - envoyer les données dans un format compris par les 2 machines,
 - gérer l'envoi des commandes et des données et le rangement des données sur disque,
 - s'assurer que les commandes et les données sont échangées correctement et que l'application destinataire reçoit toutes les données sans erreur et dans le bon ordre
- ⇒ Nécessité d'une coopération entre les 2 machines régie par des règles et des conventions (notion de protocole)

La normalisation

- Distinction norme / standard
 - La norme est établie par un organisme dont c'est officiellement le rôle
 - Le standard, ou standard de fait (defacto standard) est comparable mais rédigé par une entité non reconnue et avec des engagements de pérennité plus limités
- Rôle des organismes de normalisation
 - Définir un cadre de développement et d'évolution des technologies, souvent nommé modèle
 - Garantir la complétude et l'intégrité des spécifications
- Organismes les plus connus :
 - ISO : International Standard Organisation
 - ITU (ex CCITT) : International Telecommunication Union
 - IEEE : Institute of Electrical and Electronic Engineers

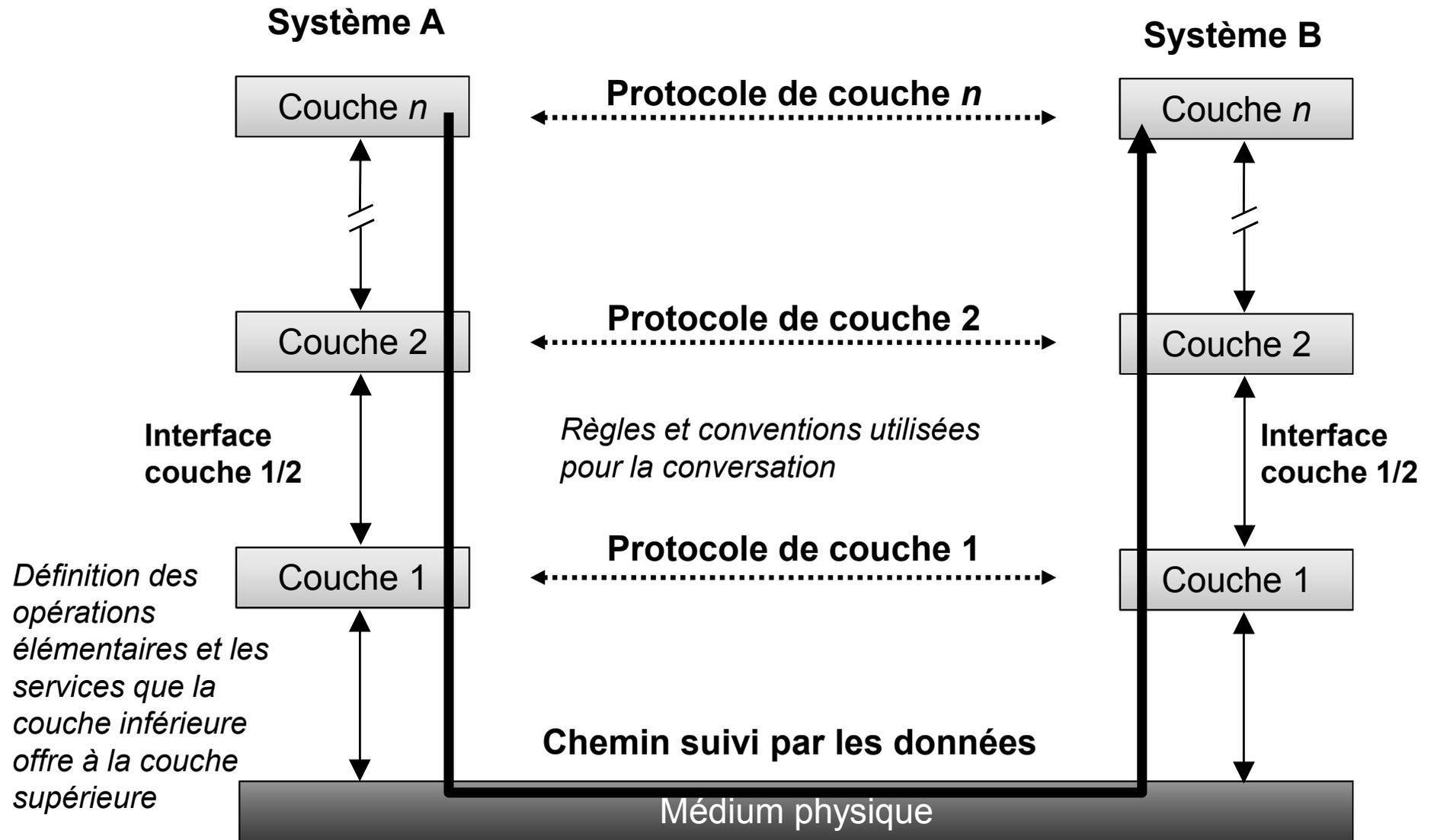
Le modèle OSI

- 1977 : ISO démarre une réflexion sur une architecture de réseau en couches
 - Un double objectif pour permettre à l'utilisateur :
 - de modifier dans le temps son infrastructure en ne remplaçant que le ou les modules (matériels ou logiciels) nécessaires
 - de se procurer les modules constitutifs de son architecture chez différents fournisseurs
- 1983 : définition du **modèle OSI**
 - *Open* : systèmes ouverts à la communication avec d'autres systèmes
 - *Systems* : ensemble des moyens informatiques (matériel et logiciel) contribuant au traitement et au transfert de l'information
 - *Interconnection*

Le modèle OSI

- Modèle d'architecture de réseau
- Propose une norme pour le nombre, le nom et la fonction de chaque couche
- Garantit que deux systèmes hétérogènes pourront communiquer si :
 - ils disposent d'un même ensemble de fonctions de communication,
 - les fonctions organisées dans le même ensemble de couches,
 - les couches paires partagent le même protocole

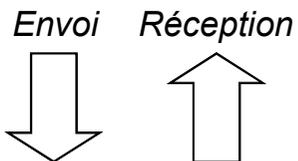
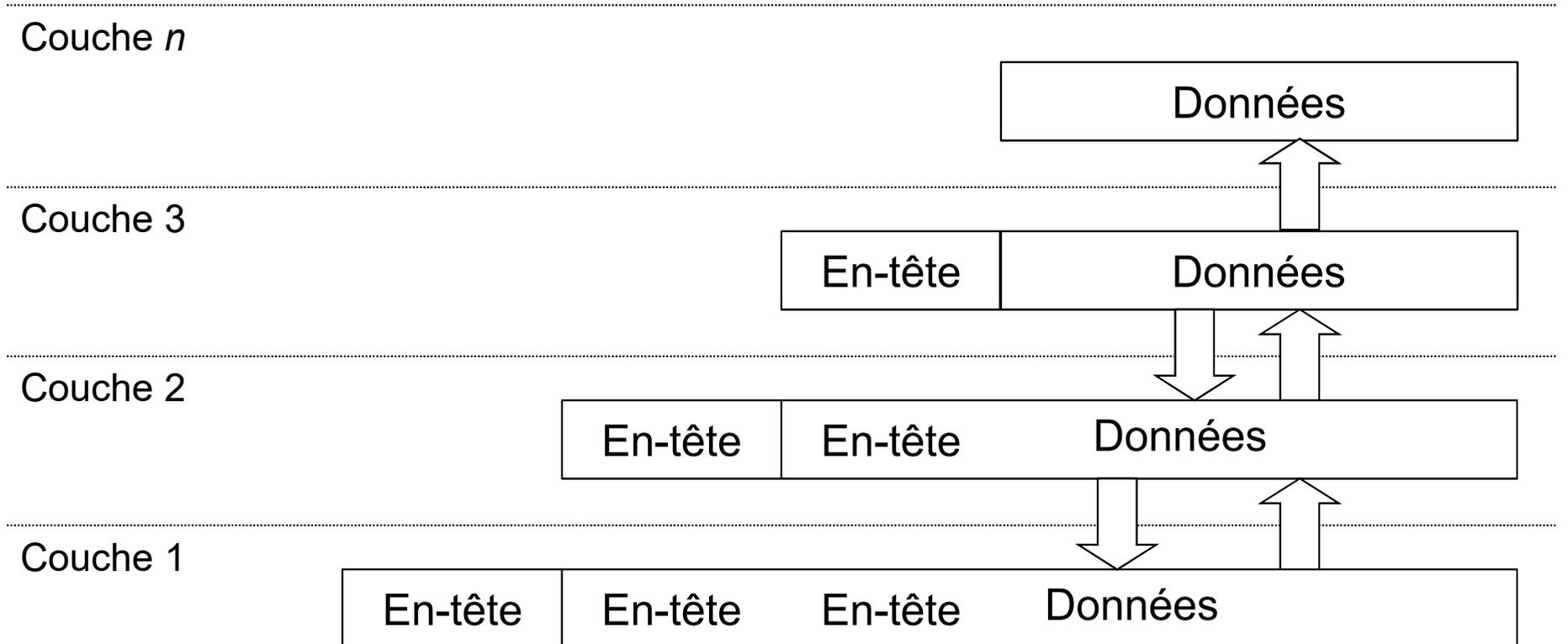
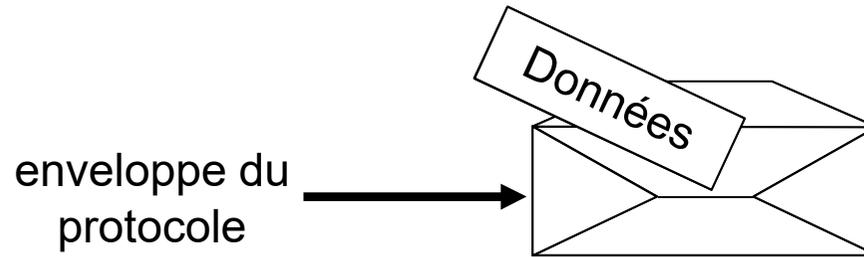
Le modèle OSI



Le modèle OSI

- Chaque couche est identifiée par son niveau N
- Chaque couche réalise un sous-ensemble de fonctions nécessaire à la communication avec un autre système
- Pour réaliser ces fonctions la couche N s'appuie uniquement sur la couche immédiatement inférieure par l'intermédiaire d'une interface
- Pour réaliser ces fonctions, chaque couche N dialogue avec la couche N paire sur le système distant
- Les règles et conventions utilisées pour ce dialogue sont appelées **protocole de couche N**
- Pas d'échange direct de données entre deux couches paires sauf pour la couche 1
- L'échange effectif des données dans le réseau se fait en passant les données à la couche immédiatement inférieure

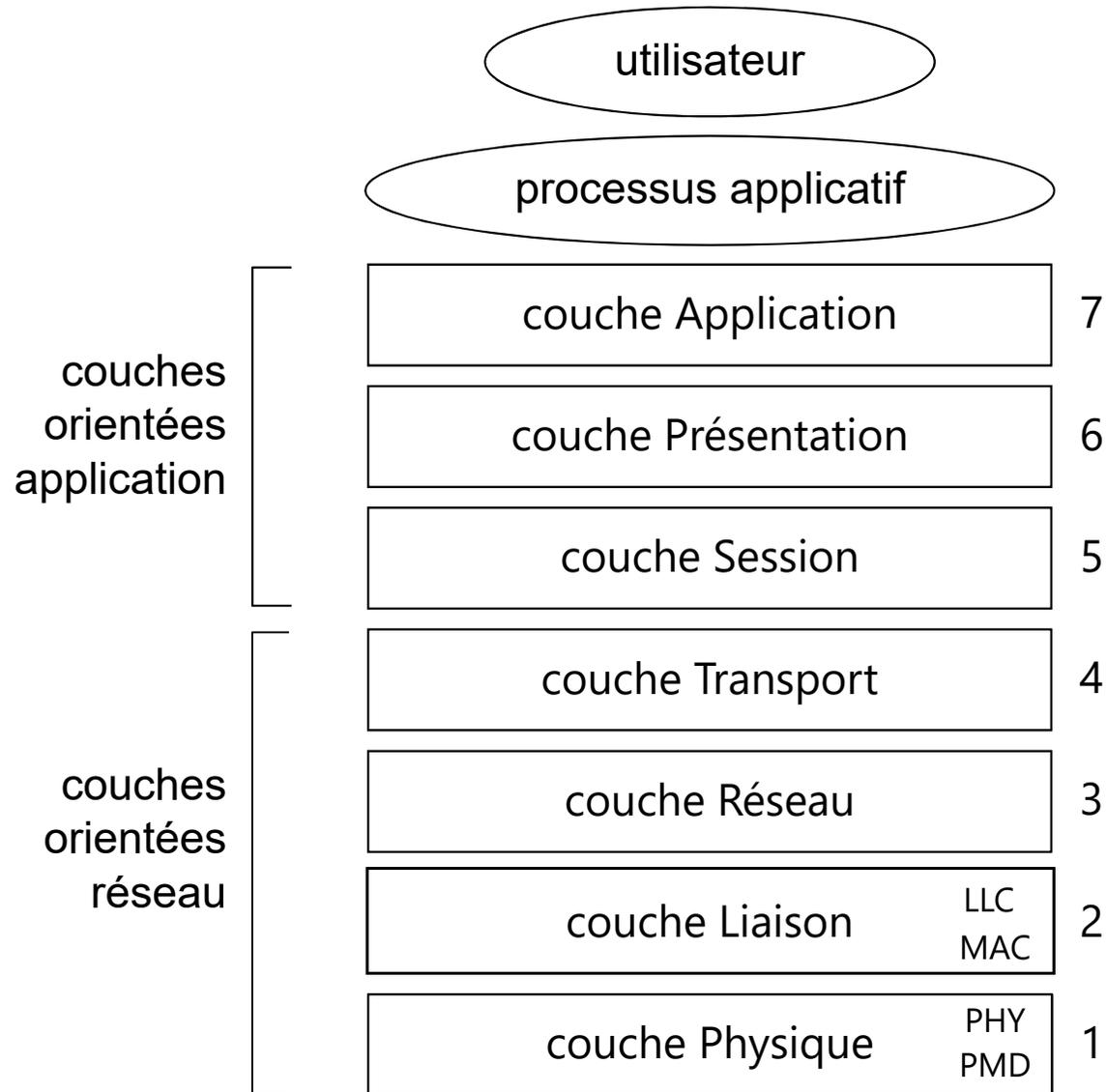
Encapsulation des données



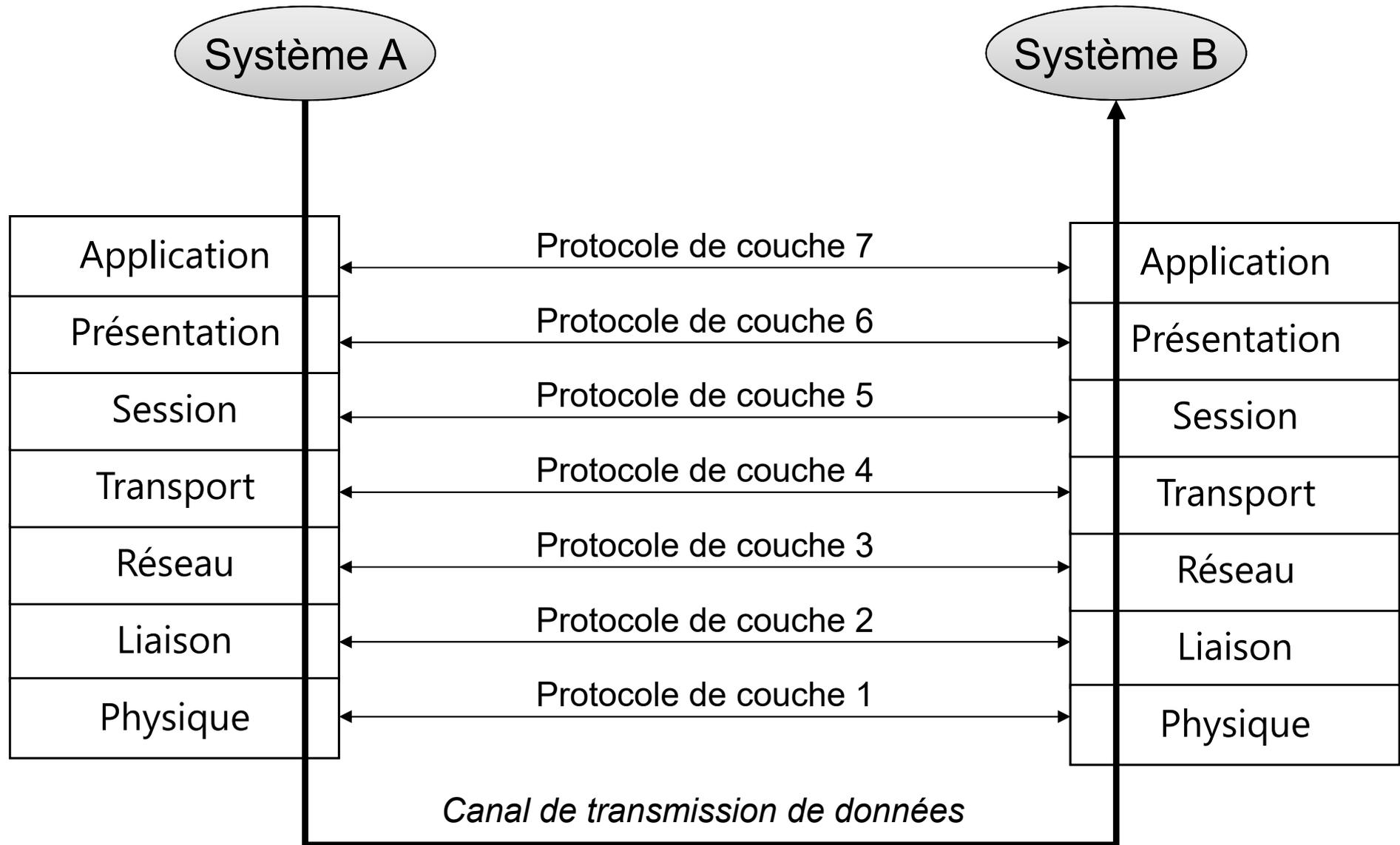
Encapsulation des données

- Les données transitent de haut en bas au niveau de l'extrémité locale
- Les informations de contrôle de protocole (en-tête/en queue) sont utilisées comme enveloppe sur chaque couche : **encapsulation**
- Les données transitent de bas en haut au niveau de l'extrémité distante
- Les informations de contrôle de protocole (en-tête/en queue) sont supprimées à mesure que les données remontent dans les couches.

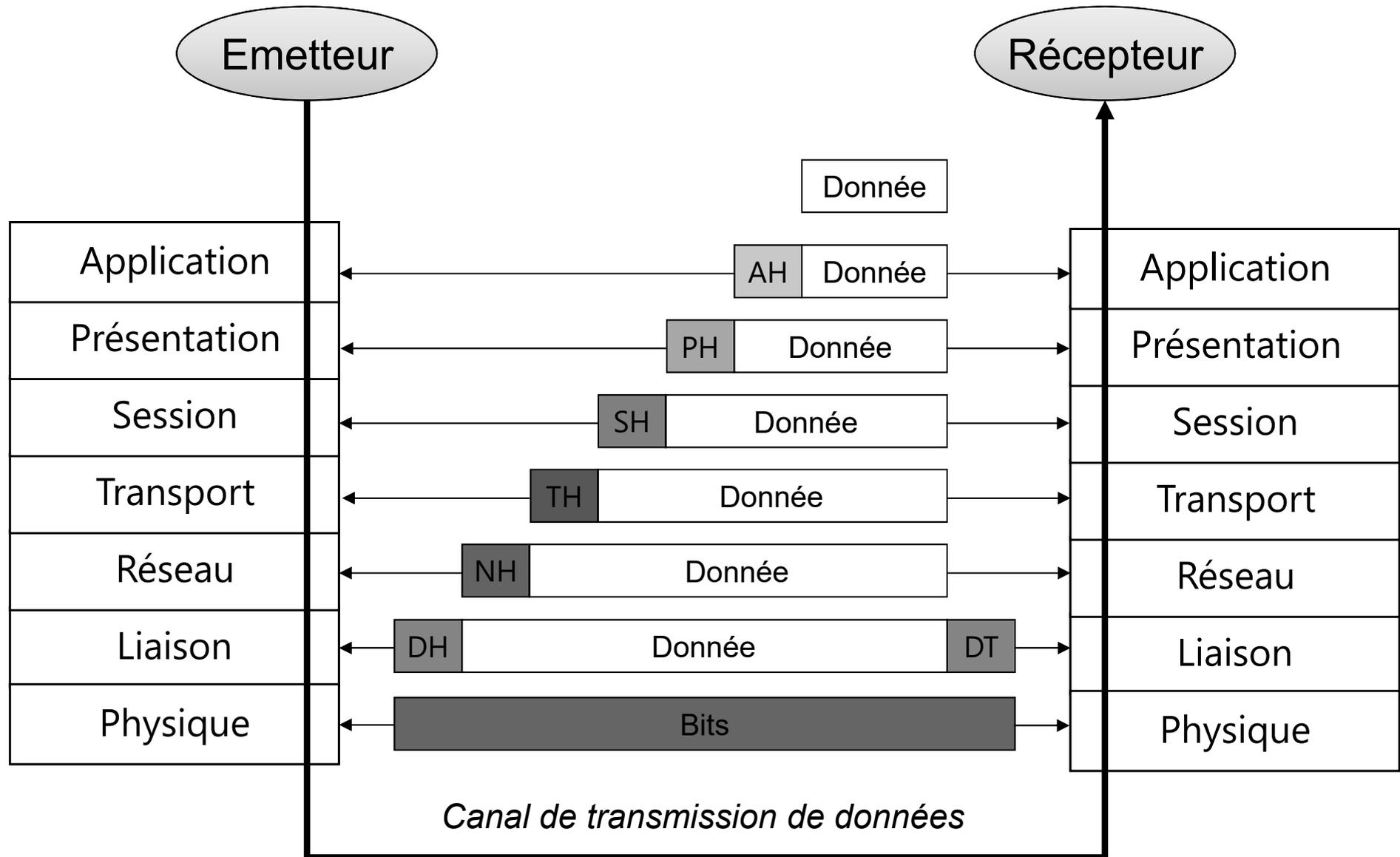
Le modèle OSI



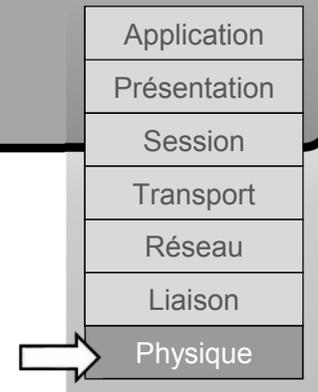
Le modèle OSI



Le modèle OSI

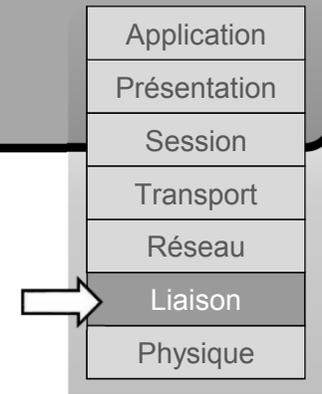


La couche physique



- Gère la transmission des bits de façon brute sur un lien physique
- Transmet un flot de bits sans en connaître la signification ou la structure
- Un bit envoyé à 1 par la source doit être reçu comme un bit à 1 par la destination
- Problèmes d'ordre :
 - **mécanique** : nombre de broches du connecteur réseau
 - **électrique** :
 - quel type de signal utiliser pour représenter un bit,
 - caractéristiques de la ligne (bande passante, rapport signal/bruit, ...)
 - **fonctionnel** :
 - mode de fonctionnement
 - initialisation et relâchement de la connexion
 - transmission simultanée dans les 2 sens

La couche liaison de données

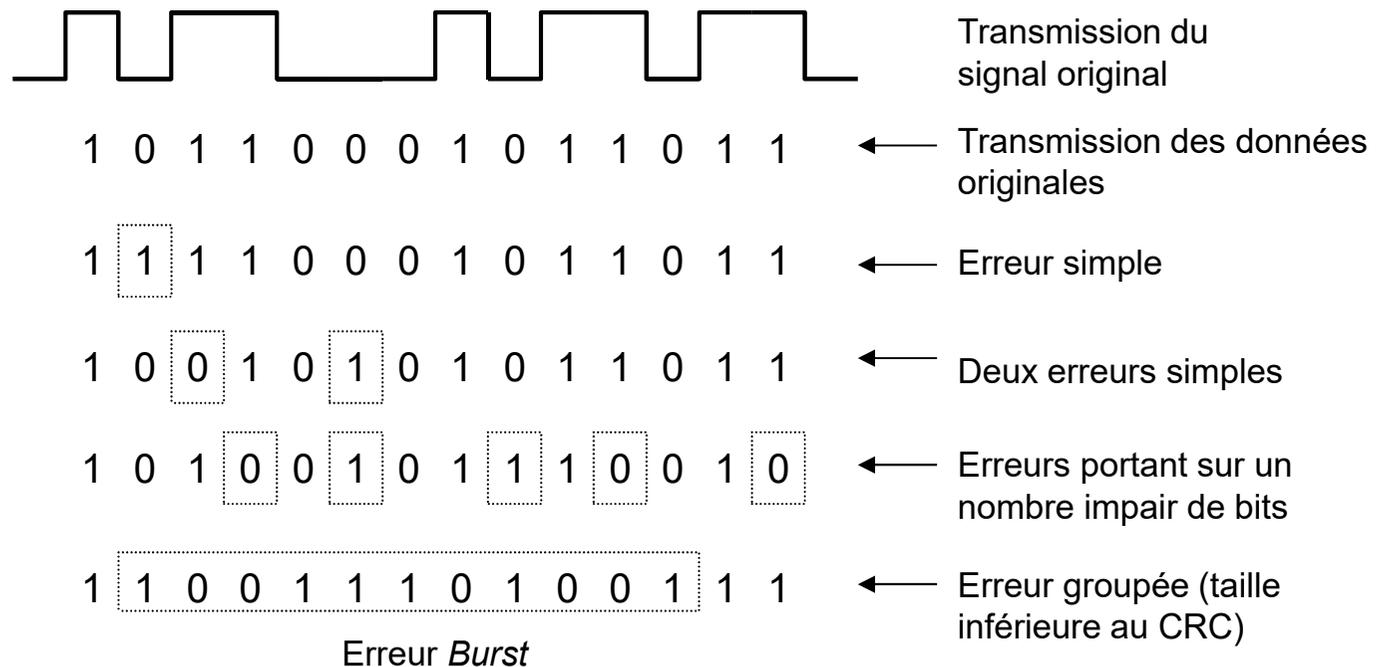


- But : transformer un moyen brut de transmission en une liaison de données qui paraît exempte d'erreur de transmission à la couche supérieure
- Achemine les données reçues de la couche supérieure en les organisant en blocs de transmission (→frames)
- Gère les problèmes posés par les trames endommagées, perdues ou dupliquées (détection et contrôle d'erreur)
- Deux systèmes non directement connectés par une liaison point-à-point sont considérés comme connectés par plusieurs liaisons indépendantes (⇒ les couches supérieures doivent gérer les erreurs de bout en bout)

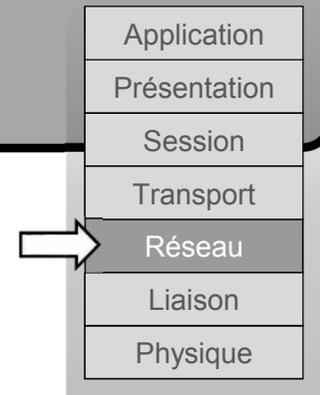
Détection d'erreurs par CRC



- Les *Contrôles de Redondance Cycliques* permettent de détecter les erreurs de modification d'un ou plusieurs bits
 - L'émetteur calcule à partir des données, un CRC qu'il envoie avec les données
 - Le destinataire recalcule le CRC à partir des données reçues et compare la valeur obtenue avec celle indiquée

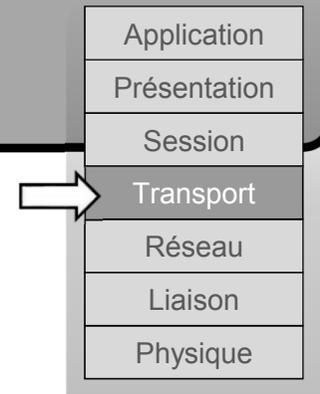


La couche réseau



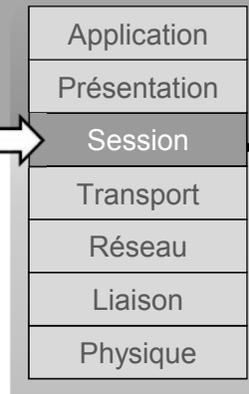
- But : acheminer les données du système source au système destination quelle que soit la topologie du réseau de communication entre les 2 systèmes terminaux,
- Plus basse couche concernée par la transmission de bout en bout
 - Deux techniques
 - Le mode connecté utilisant les circuits virtuels
 - Le mode sans connexion utilisant les datagrammes
- Assure le **routage** (acheminement) des paquets via des routes,
- Gère les problèmes d'**adressage** dans l'interconnexion de réseaux hétérogènes,
- Sa complexité est dépendante de la topologie du réseau

La couche transport



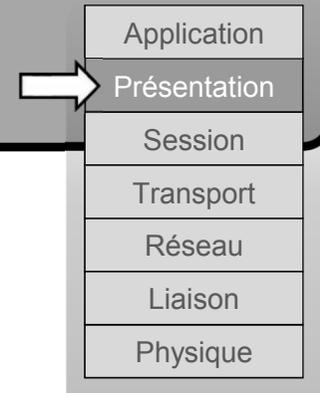
- But : offrir aux couches supérieures un canal de transport de données de bout en bout **fiable** et **économique** quelle que soit la nature du réseau sous-jacent
- Notamment
 - détection et contrôle d'erreur,
 - messages délivrés dans l'ordre d'émission,
 - contrôle de flux de bout en bout (ni perte, ni duplication)
- La complexité de cette couche est fonction des services offerts par la couche 3

La couche session



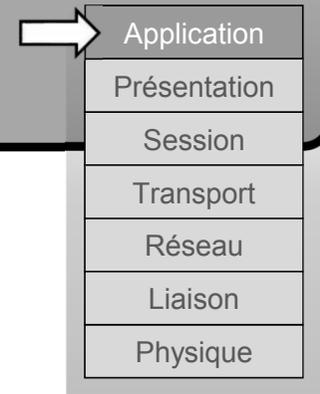
- But : gérer le dialogue entre deux applications distantes
- Fiabilité assurée par les couches inférieures,
- Gestion du dialogue :
 - dialogue unidirectionnel ou bidirectionnel,
 - gestion du tour de parole,
 - synchronisation entre les deux applications (section critique, rendez-vous),
- Mécanisme de points de reprise en cas d'interruption dans le transfert d'informations

La couche présentation



- But : affranchir les applications de la couche supérieure des contraintes syntaxiques
- Gère les problèmes de différences de représentation des données (ASCII, MP3 ...),
- Effectue la compression des données si elle est nécessaire pour le réseau,
- S'occupe du chiffrement des données (par exemple, DES - *Data Encryption Standard* - défini par IBM à la fin des années 70) et de l'authentification

La couche application

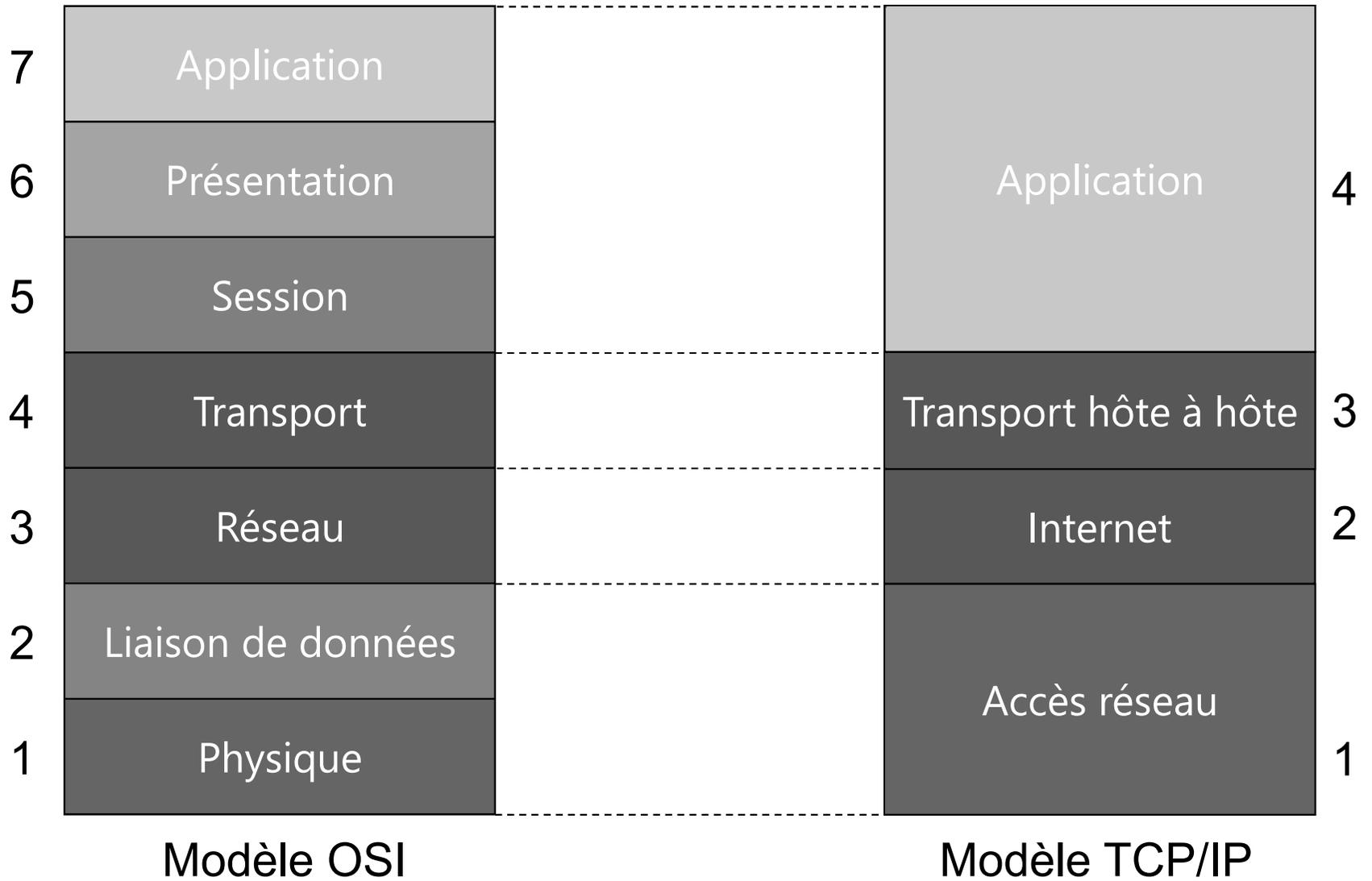


- But : fournir des applications réseaux normalisées
- Fournir des protocoles normalisés d'applications réseaux « communes » :
 - terminal virtuel (telnet),
 - transfert de fichiers (FTP),
 - messagerie électronique (SMTP, POP, IMAP ...),
 - gestion et administration de réseaux (SNMP),
 - consultation de serveurs et de bases de données (DNS, LDAP, NIS ...)

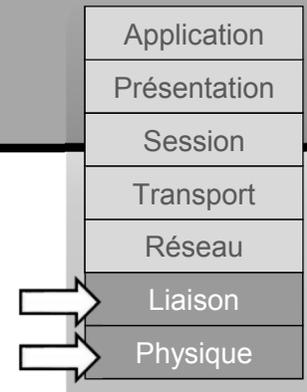
Le modèle TCP/IP

- Développé parallèlement aux travaux de l'ISO
- Fruit des recherches du Département de la Défense des Etats-Unis (DoD) dans le cadre du projet DARPA (*Defense Advanced Research Project Agency*)
- Famille de protocoles constituée de 4 couches
 - Accès réseau
 - Internet
 - Transport hôte à hôte
 - Application

Modèles OSI / TCP/IP

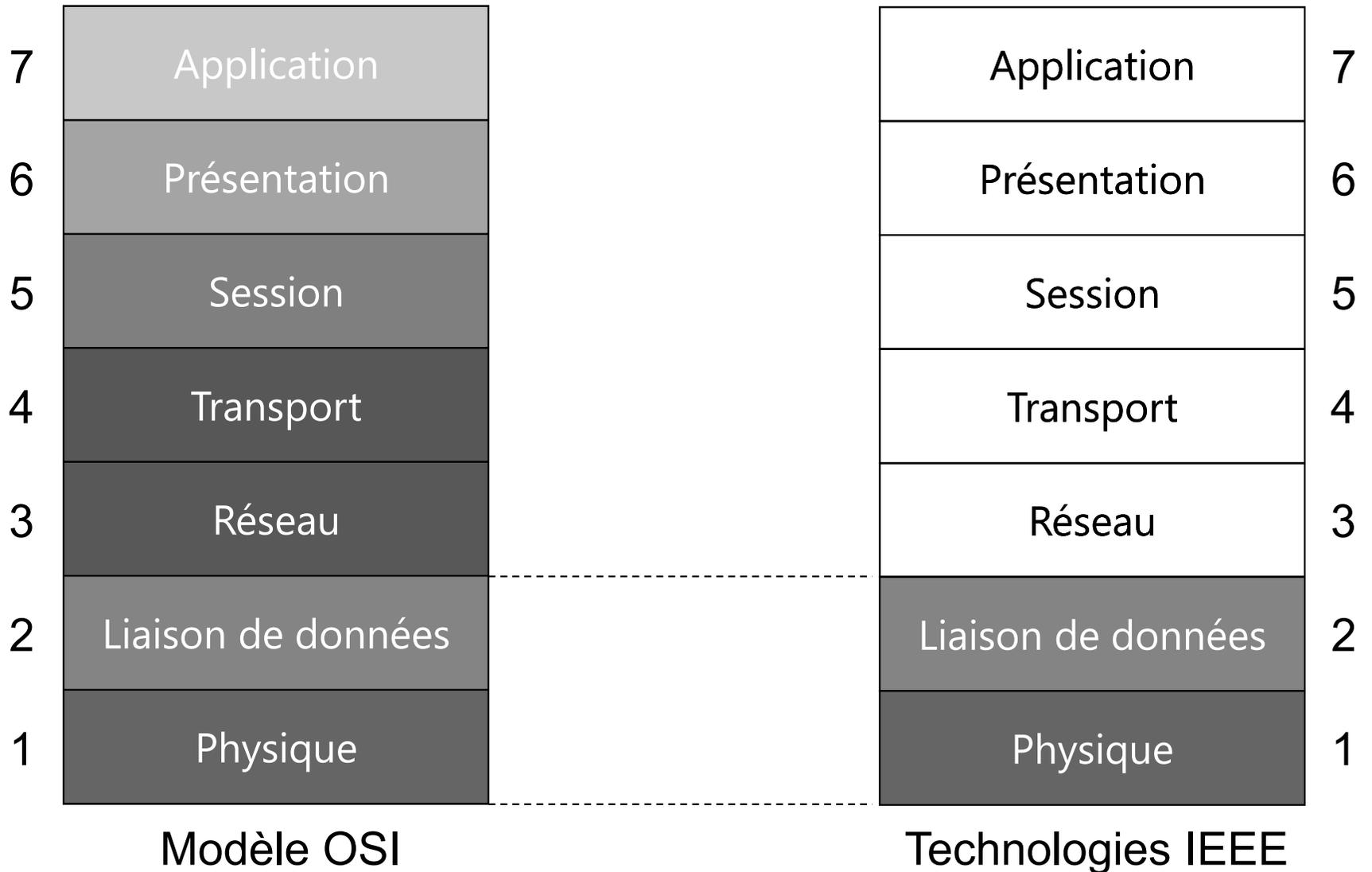


Les standards de l'IEEE



- But : produire un ensemble de standards dans le domaine des **réseaux locaux** afin d'assurer la compatibilité entre des équipements provenant de différents fabricants
- Création par l'IEEE du **comité 802** (février 1980) pour produire 3 standards à partir de ces solutions :
 - Ethernet \Rightarrow " standard " 802.3
 - MAP (*Manufacturing Automation Protocol*) \Rightarrow " standard " 802.4
 - Token-Ring \Rightarrow " standard " 802.5
- Standards de l'IEEE mis à jour ou complétés par des suppléments spécifiques (identifiés par une lettre suivant le numéro du comité)

Modèles OSI / Technologies IEEE



Les comités IEEE 802

Application

Présentation

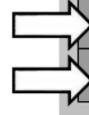
Session

Transport

Réseau

Liaison

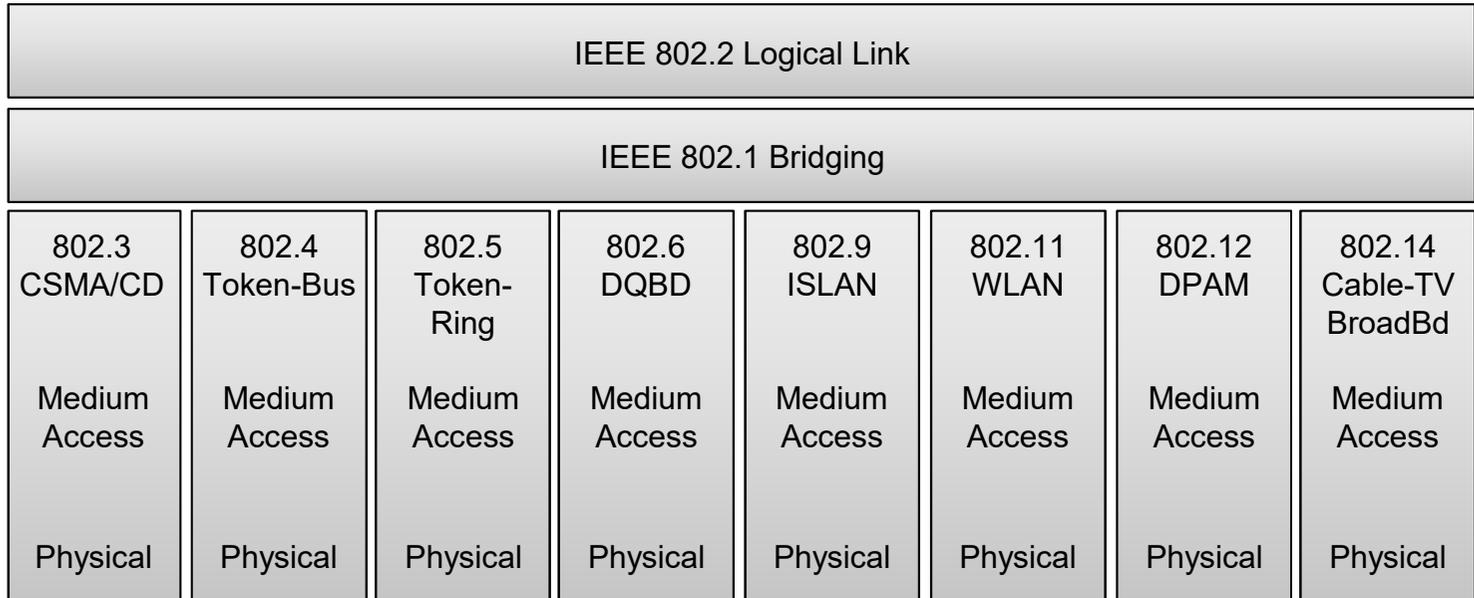
Physique



IEEE 802.10 Security

IEEE 802 Overview & Architecture

IEEE 802.1 Management



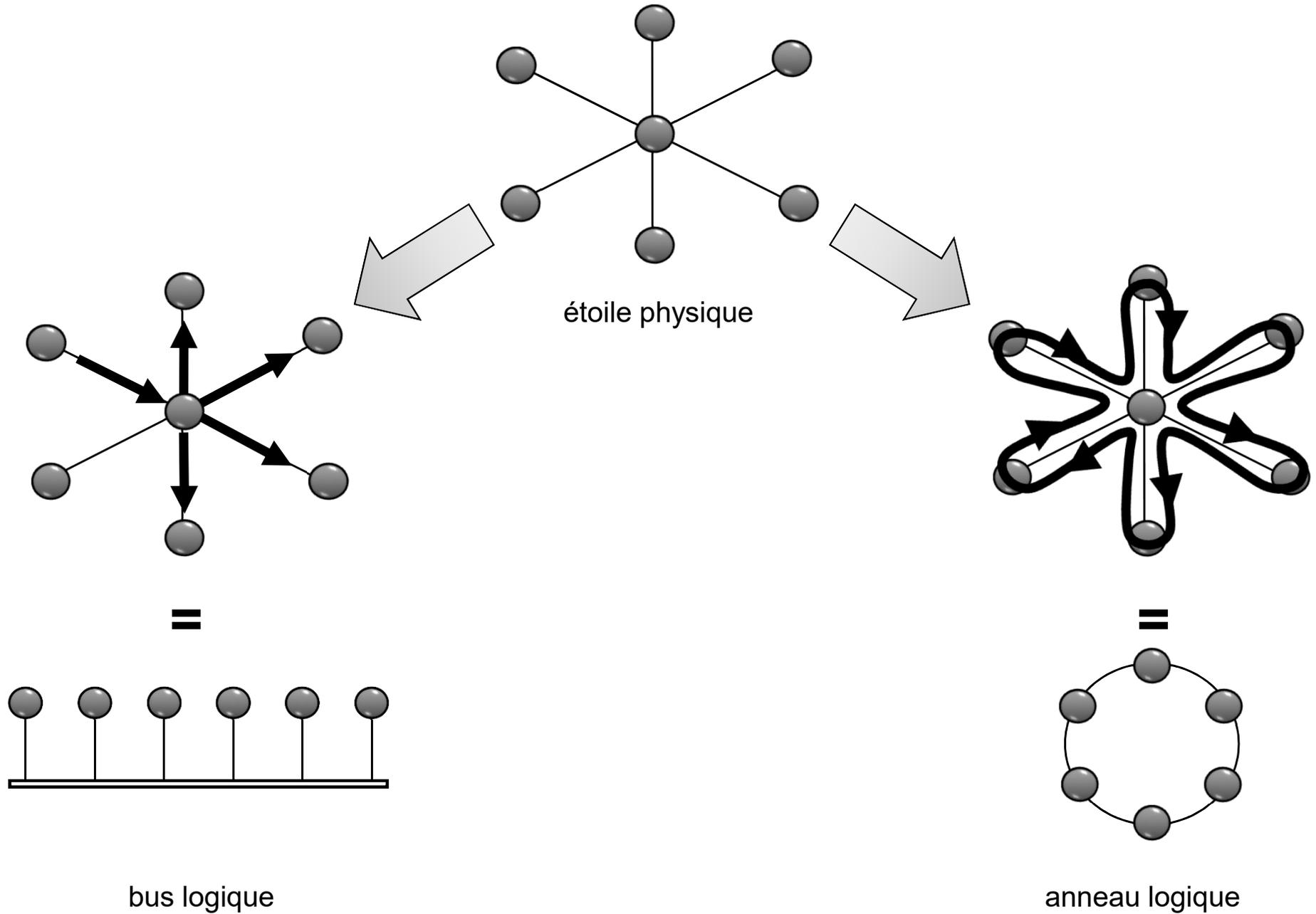


- On distingue, la topologie :
 - **Physique**
 - décrit la façon dont les nœuds sont agencés et reliés
 - **Logique**
 - décrit la façon dont les informations circulent entre les nœuds



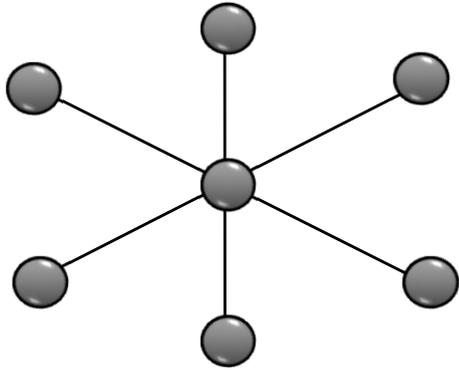
La topologie logique peut être différente de la topologie physique !

Topologie physique vs logique

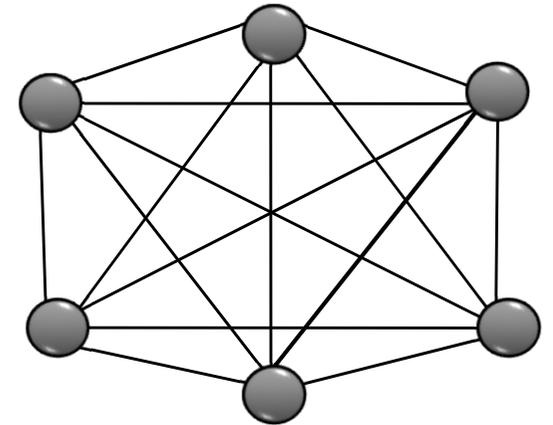


Topologies physiques

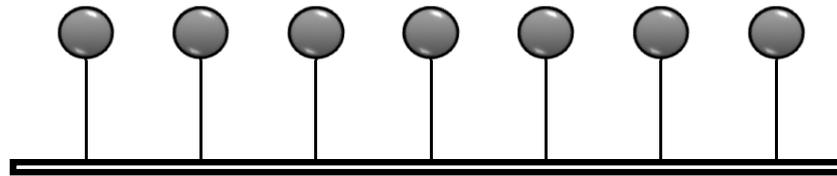
Etoile



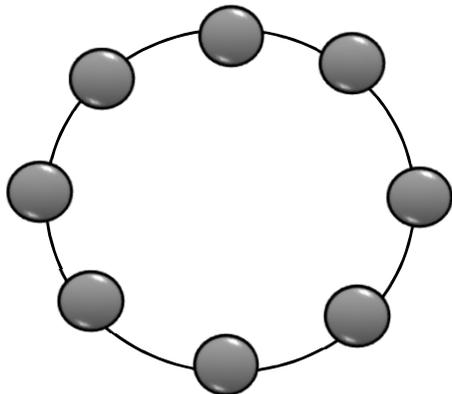
Maillage régulier



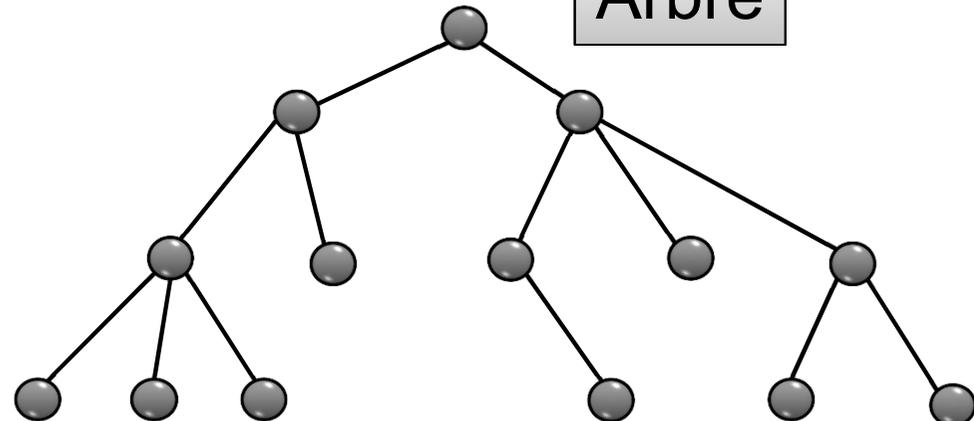
Bus



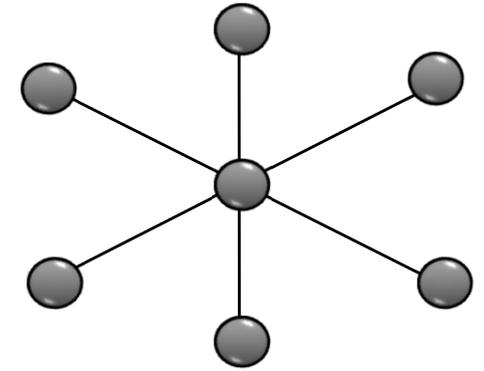
Anneau



Arbre

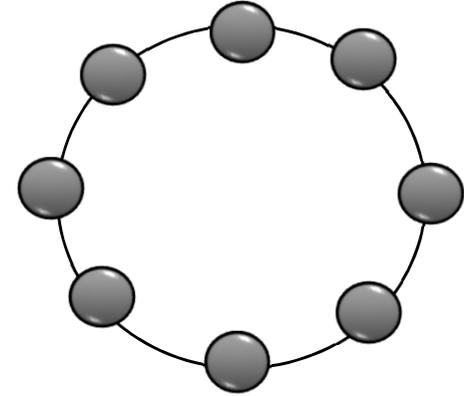


Topologie : l'étoile



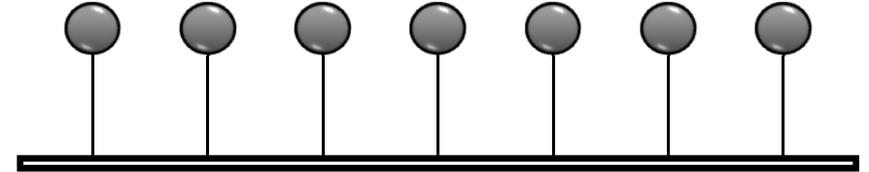
- Constituée d'un élément central raccordé à plusieurs périphériques par autant de liaisons (rayons)
- Caractéristiques
 - Assez coûteuse en terme de câblage ($N - 1$ chemins pour N équipements)
 - Dissymétrique
 - Le cœur de l'étoile a une position particulière
 - Il est appelé *hub* (moyeu) ou *concentrateur*

Topologie : l'anneau



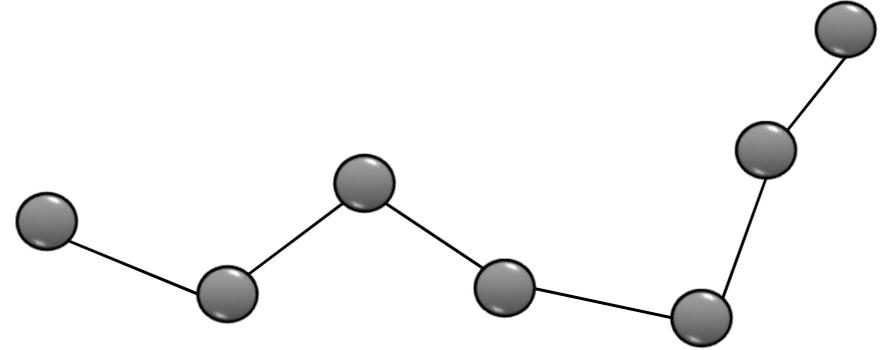
- Composé d'un chemin bouclé sur lequel sont connectés les différents éléments du réseau
- Il existe un ordre de circulation implicite des informations et les éléments sont atteints successivement (circulairement)

Topologie : le bus



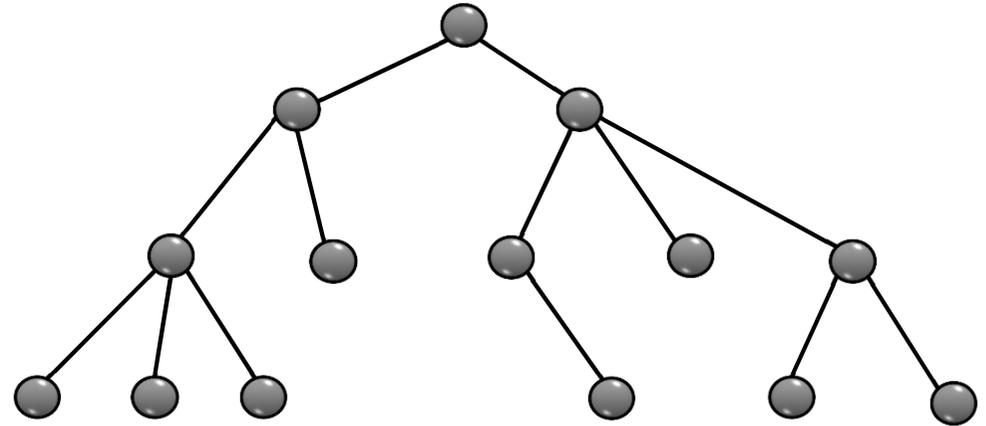
- Correspond à la mise en parallèle de tous les accès au réseau
- Il n'y a, à priori, pas d'ordre dans les éléments
- Le seul média est partagé entre tous les nœuds raccordés
- Le débit réel global sur le bus est nécessairement limité par la capacité de transmission du média

Topologie : la chaîne



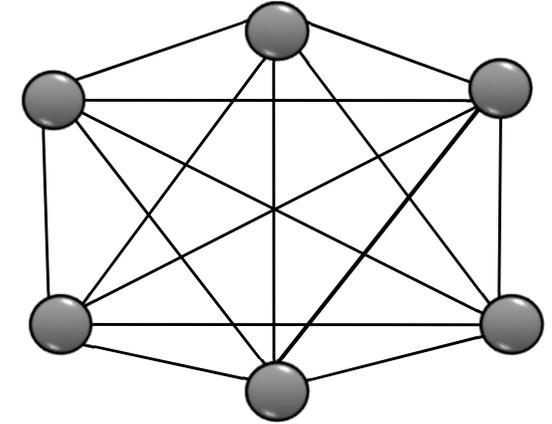
- Chemin reliant successivement tous les accès
- La chaîne circule de station en station et implique un séquençement implicite dans les accès
- Le cheminement s'arrête aux 2 extrémités (si la chaîne bouclait, elle formerait un anneau)

Topologie : l'arbre



- L'arborescence est décrite selon une structure d'arbre
 - des branches se divisent et se subdivisent en partant de la racine (unique)
 - jamais de boucles
- Topologie particulièrement riche
 - peut intégrer différents niveaux hiérarchiques et une structure élaborée

Topologie : le maillage

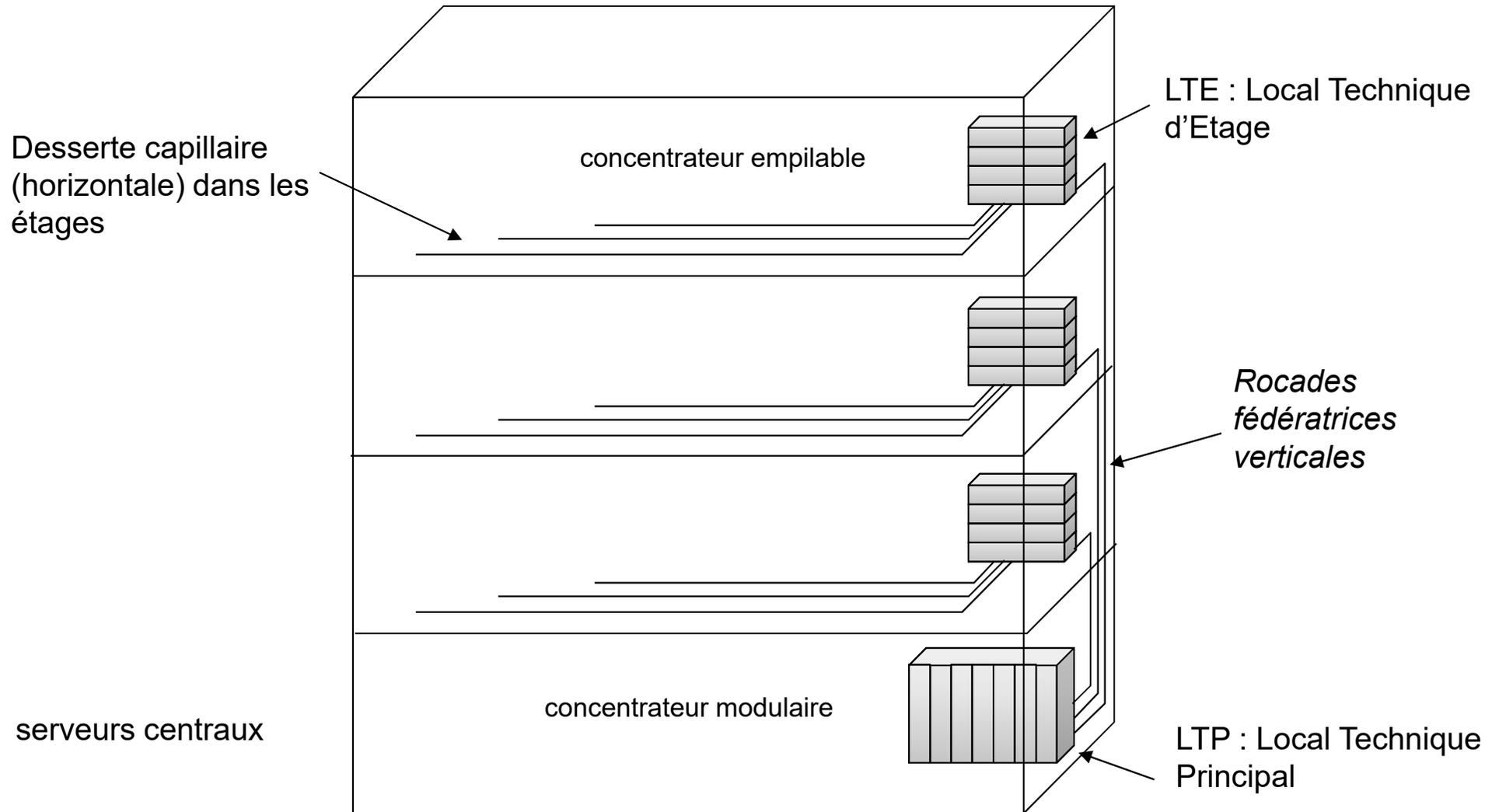


- Topologie
 - simple
 - les éléments sont reliés par couple par des liaisons en point à point
 - la plus coûteuse
 - il existe un chemin physique pour chaque communication possible
- Quand tous les éléments sont ainsi reliés par couple, la topologie est dite complètement maillée
 - le nombre de liaisons est de $N \times (N - 1) / 2$ pour N machines

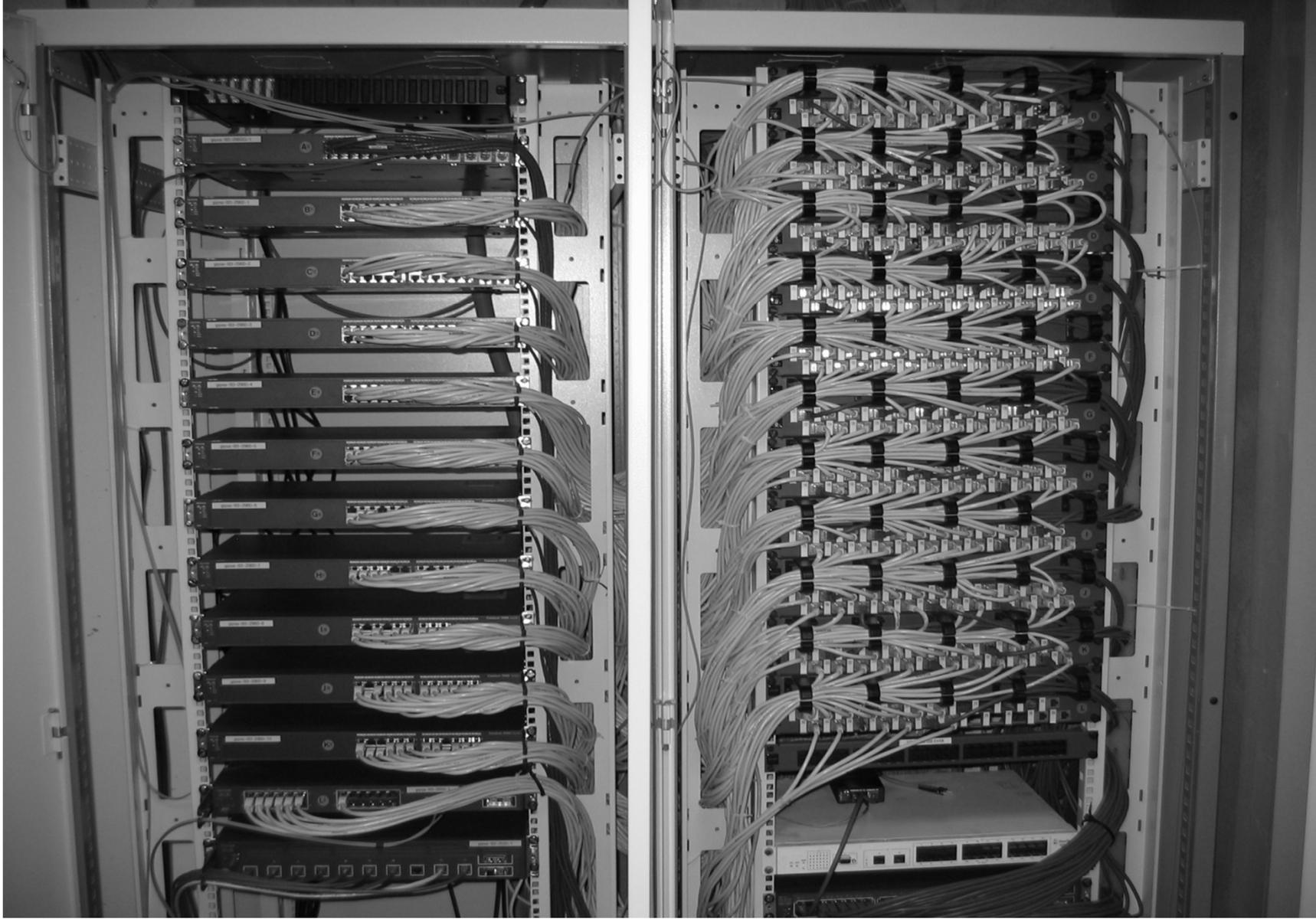
Quelle topologie choisir ?

- Ces topologies ont chacune des qualités et des défauts
- Le câblage systématique des bâtiments qui se fait nécessairement en étoile, oriente les utilisateurs vers les technologies adaptées
- Dans la pratique, les topologies mises en place sont composées à partir de sous-structures respectant une des topologies de base
- On peut également être amené à dupliquer en partie la topologie pour des besoins de sécurisation ou de performances : double étoile, double anneau, double bus

Précâblage des bâtiments



Locaux techniques de brassage



Aspects matériels des réseaux

Composants des réseaux locaux
Ethernet et Wi-Fi



Composants physiques du réseau

- Support physique d'interconnexion ou médias
 - Permet l'acheminement des signaux transportant l'information
- Prises (*tap*)
 - Assurent la connexion sur le support
- Adaptateur (*transceiver*)
 - Se charge notamment du traitement des signaux à transmettre (codage, ...)
- Coupleur ou « carte réseau » (NIC, *Network Interface Card*)
 - Prend en charge les fonctions de communication
 - Se présente sous la forme d'une carte additionnelle enfichable dans la machine ou directement intégrée sur la carte mère
- Equipements spécifiques : répéteur, hub ...



Les médias

Application

Présentation

Session

Transport

Réseau

Liaison

Physique

- Câbles métalliques :
 - Câble coaxial
 - Paire torsadée
- Fibres optiques :
 - multimode à saut d'indice
 - multimode à gradient d'indice
 - monomode
- Ondes radio et infrarouge



Le câble coaxial

Application

Présentation

Session

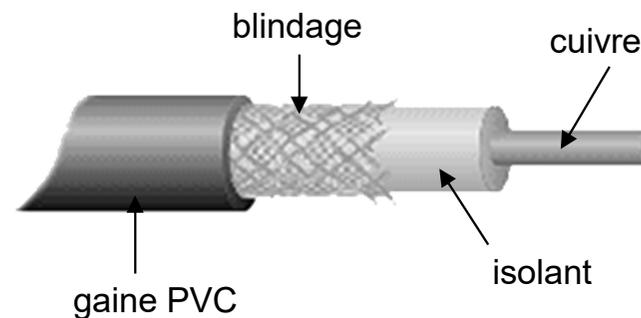
Transport

Réseau

Liaison

Physique

- Formé d'une âme en cuivre utilisée pour transmettre les signaux. Le retour du signal se fait par une gaine conductrice qui entoure l'âme, les deux étant séparées par un isolant



- Bonne performance en débit et en distance
- Bonne protection contre les parasites électromagnétiques (⇒ utilisation en milieu perturbé)
- Installation délicate (rigide)
- Coût relativement élevé (par rapport à la paire torsadée)

La paire torsadée

Application

Présentation

Session

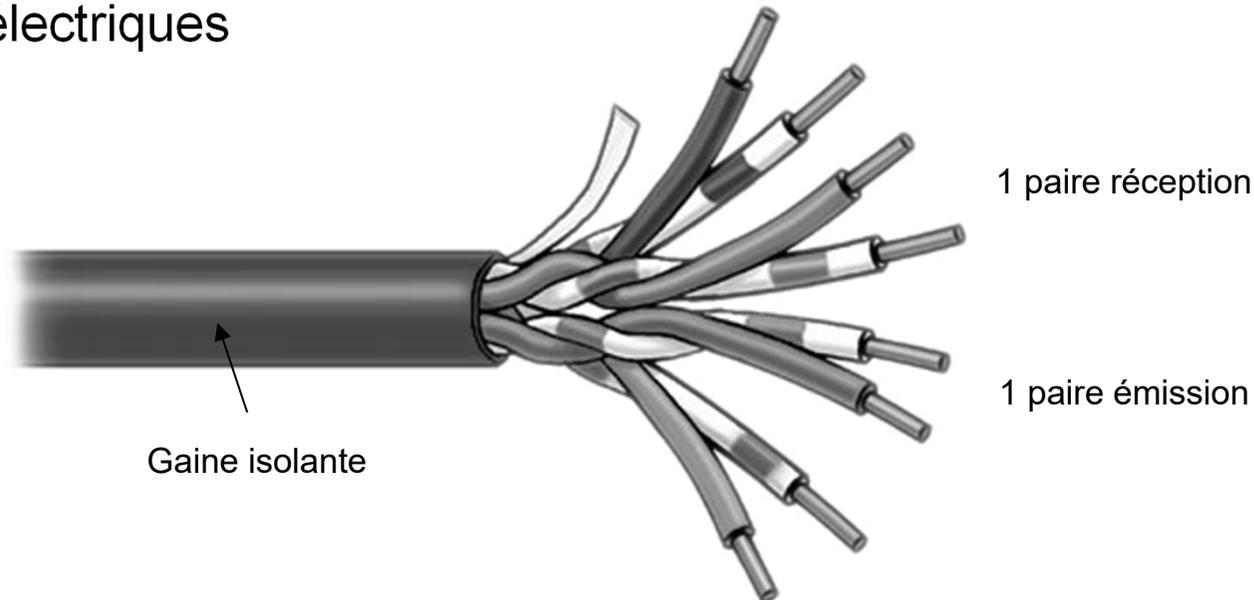
Transport

Réseau

Liaison

Physique

- Formée de paires de fil conducteur, contenues dans une gaine isolante
- Les paires sont torsadées pour éviter les interférences électriques



- Une des paires sert à l'émission du signal, l'autre à la réception
- Facile à installer
- Le plus courant en téléphonie et informatique
- Peu coûteux
- Performances en débit et distance médiocres
- Sensible aux perturbations électromagnétiques malgré les torsades

La paire torsadée

Application

Présentation

Session

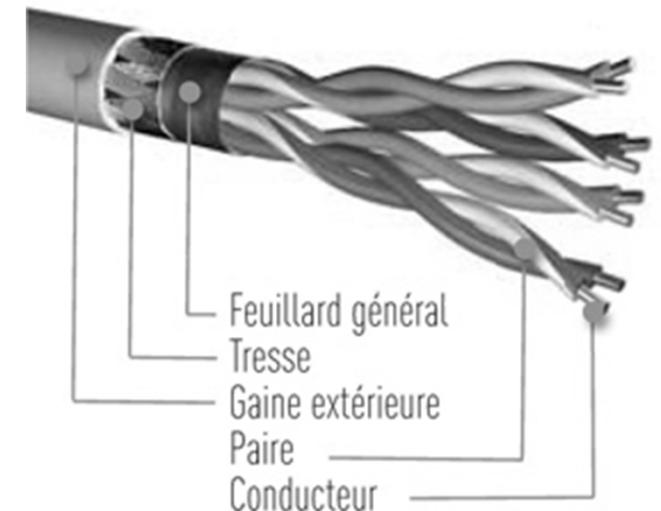
Transport

Réseau

Liaison

Physique

- Protection des câbles
 - **Ecrantage** : toutes les paires d'un même câble sont entourées d'une tresse métallique ou d'un feuillard fin en aluminium
 - **Blindage** : chaque paire est entourée d'une tresse métallique ou d'un feuillard fin en aluminium
 - paires torsadées non blindées, non écrantées
 - ➔ UTP : *Unshielded Twisted Pair*
 - paires torsadées blindées
 - ➔ STP : *Shielded Twisted Pair*
 - paires torsadées écrantées
 - ➔ FTP : *Foiled Twisted Pair*
 - paires écrantées et blindées
 - ➔ SFTP : *Shielded FTP*



Les catégories de câbles

Application

Présentation

Session

Transport

Réseau

Liaison

Physique

- Deux méthodes de classification des composants et liens
 - Catégories
 - correspondent aux performances des composants
 - sont éditées par l'EIA/TIA
 - 8 catégories définies, numérotées de 1 à 8
 - la catégorie 5E est une extension de la catégorie 5 pour le Gigabit
 - Classes
 - permettent de caractériser un lien composé de différents composants (prises, connecteurs, câbles)
 - 6 classes définies actuellement, de A à F
- La norme ISO 11801, définit la distance maximum (sans introduction d'amplificateurs de signal) en fonction du média utilisé pour le lien et de la classe d'application
 - exemple : 100 m maximum pour un lien en Cat5 (câble + cordons à chaque bout) pour de l'Ethernet 100 Mbit

La fibre optique

Application

Présentation

Session

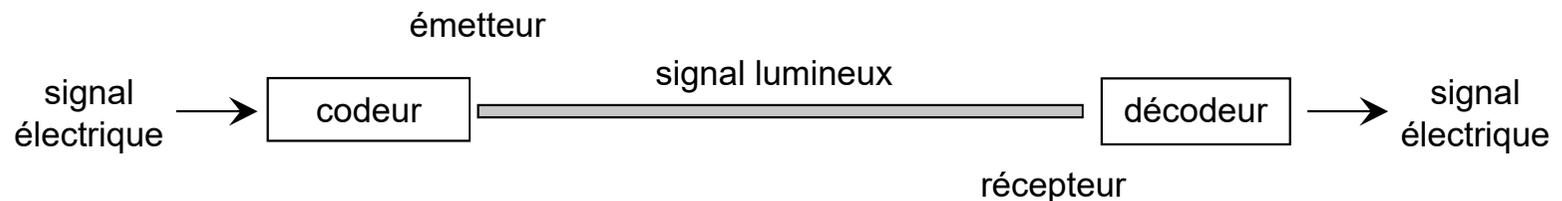
Transport

Réseau

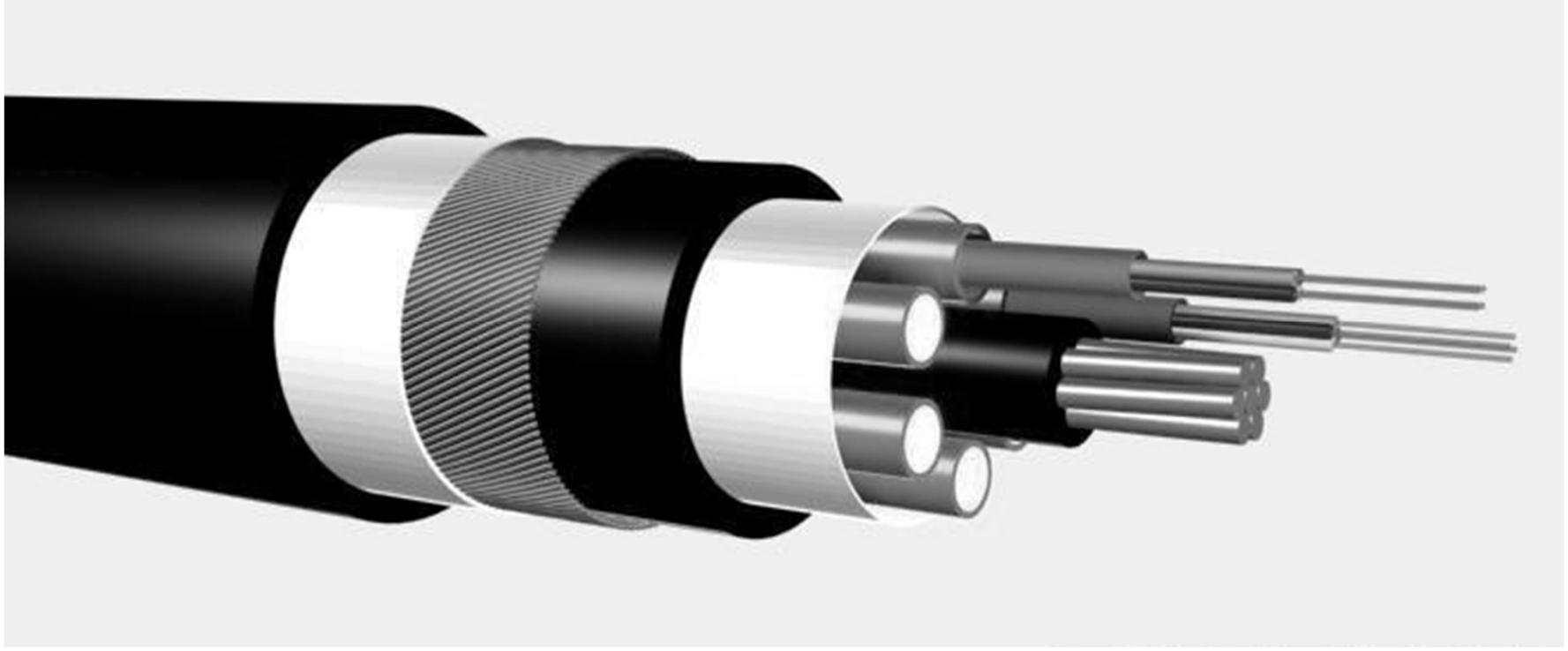
Liaison

Physique

- Le transport d'informations est réalisé par propagation d'ondes lumineuses
 - propagation effectuée par réflexion sur les parois de la fibre
 - diamètre de la fibre compris entre quelques dizaine de microns et quelques centaines de microns
- Selon le type de fibre, une diode électroluminescente (LED), une diode à infrarouge ou un laser convertit le signal électrique à transmettre en un signal optique
- Un détecteur de lumière, une photodiode, effectue la conversion inverse
- La présence ou l'absence d'un signal lumineux permet le codage d'un bit
- On utilise une fibre pour l'émission et une pour la réception



La fibre optique



La fibre optique

Application

Présentation

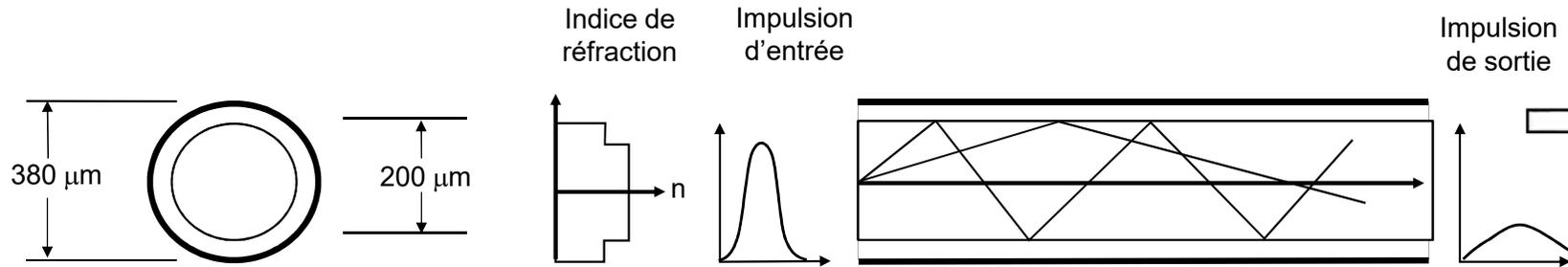
Session

Transport

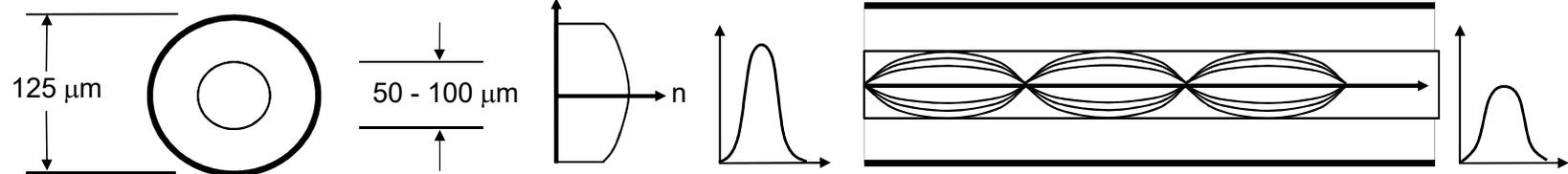
Réseau

Liaison

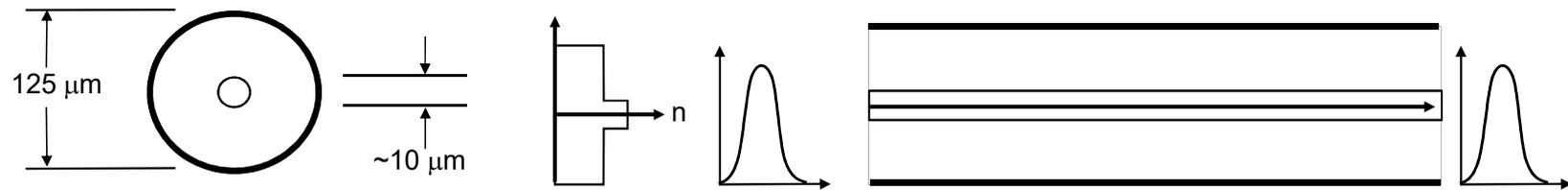
Physique



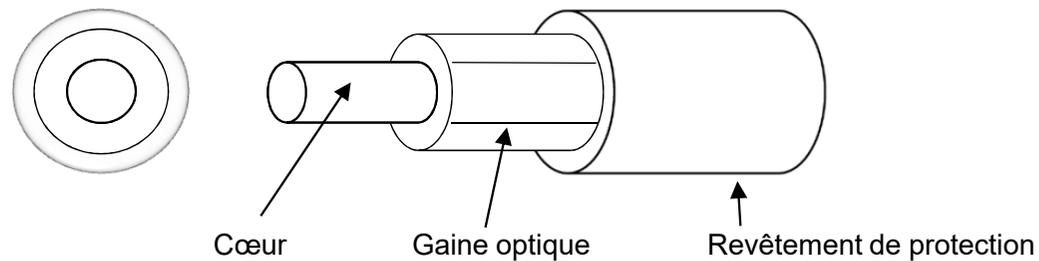
Fibre multimode à saut d'indice



Fibre multimode à gradient d'indice



Fibre monomode



Les ondes radio et l'infrarouge

Application

Présentation

Session

Transport

Réseau

Liaison

Physique



- Ondes radio
 - peuvent traverser différents types d'obstacles, notamment les murs
 - allocation des bandes de fréquences utilisées et puissance du signal émis soumis à une réglementation stricte propre à chaque pays
- Infrarouge
 - utilisable en environnement soumis aux interférences
 - ne peut pas traverser les objets opaques tels que les murs
 - soumis à une réglementation moins stricte
 - peu de produits disponibles

Les comités IEEE 802

Application

Présentation

Session

Transport

Réseau

Liaison

Physique



IEEE 802.10 Security

IEEE 802 Overview & Architecture

IEEE 802.1 Management

IEEE 802.2 Logical Link

IEEE 802.1 Bridging

802.3
CSMA/CD

802.4
Token-Bus

802.5
Token-Ring

802.6
DQBD

802.9
ISLAN

802.11
WLAN

802.12
DPAM

802.14
Cable-TV
BroadBd

Medium
Access

Physical

Physical

Physical

Physical

Physical

Physical

Physical

Physical

couche
Liaison
de
données

couche
Physique

Ethernet / IEEE 802.3

Application

Présentation

Session

Transport

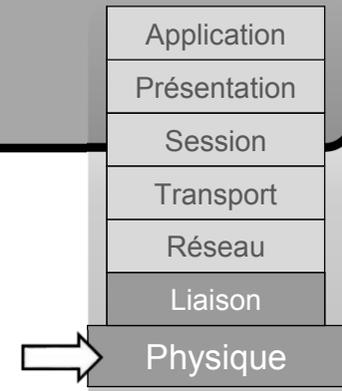
Réseau

Liaison

Physique

- 1970 : version expérimentale Xerox à 3Mb/s sur câble coaxial de 75Ω jusqu'à 1 km,
- 1980 : Ethernet version 1.0 standard de Xerox, Intel et Digital Equipment (DIX)
- 1982 : Ethernet version 2.0 (DIX), câble coaxial de 50Ω d'impédance caractéristique et fibre optique en point-à-point
- 1985 : standard IEEE 802.3 (10BASE5 = câble coaxial) puis suppléments 802.3 a, b, ...
- 1989 : norme ISO 8802-3

Le standard Ethernet



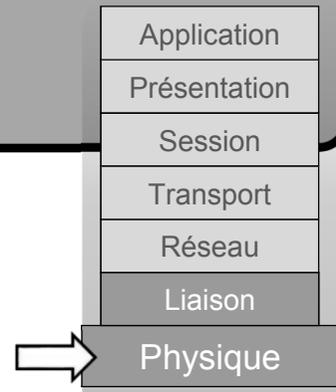
- Dans le standard IEEE, à chaque type de média est attribué un nom de la forme :

XX TTT MM

avec

- **XX** = débit de transmission en Mbit/s
- **TTT** = technique de codage des signaux (**bande de base** ou **large bande**)
- **MM** = identification du média ou longueur maximale d'un segment, en centaine de mètres

Ethernet 10 Mbit



- **10Base5** câble coaxial
 - 10 comme 10 Mbit/s
 - BASE comme Baseband (bande de base)
 - 5 comme 500 mètres
- Appellations : Thick Ethernet, Ethernet standard, câble jaune, gros câble, ...
- Longueur maximale : 500 mètres
- Nombre maximum de stations : 100
- Distance entre stations : multiple de 2,5 mètre (marques sur le câble)
- Topologie en bus avec transceiver vampire

Ethernet 10 Mbit

Application

Présentation

Session

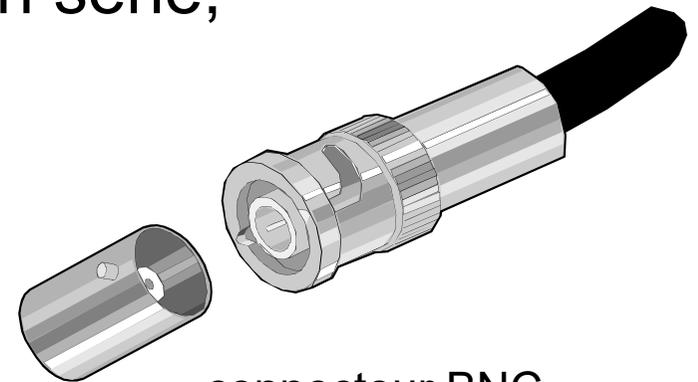
Transport

Réseau

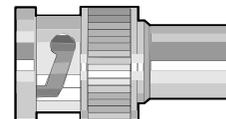
Liaison

Physique

- **10Base2** câble coaxial fin
 - 2 comme 200 mètres
- Appellations : Thin Ethernet, Ethernet fin, Thinnet, Cheapernet, ...
- Longueur maxi : 185 mètres
- Nombre maxi de stations : 30
- Distance entre stations : minimum 0,5 mètre
- Topologie en bus avec stations en série,
- Transceiver en T (possibilité de raccordement BNC).



connecteur BNC



Ethernet 10 Mbit

Application

Présentation

Session

Transport

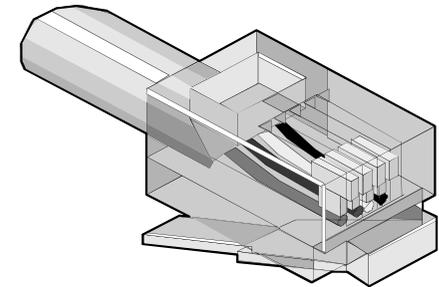
Réseau

Liaison

Physique

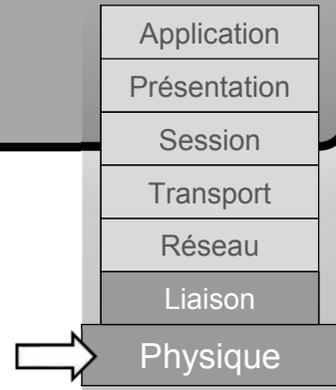


- **10BaseT** normalisé en 93/94
 - T comme *Twisted Pair* (paire torsadée)
- Médium : double paire torsadée non-blindée
 - fils 1 et 2 pour l'émission
 - fils 3 et 6 pour la réception
 - prise RJ45 en bout des fils
- Longueur maxi : 100 mètres
- Topologie en étoile
 - liaisons point-à-point,
 - une station en bout de branche,
- Nécessite un équipement : répéteur (hub) ou commutateur (switch)



connecteur RJ45

Ethernet 10 Mbit



- **10BaseF**
 - F comme *Fiber Optic* (fibre optique)
- Fibre optique monomode ou multimode
- Fibre optique plutôt utilisée pour les backbones que pour les stations de travail,
- Coûteux et difficile à mettre en œuvre,
- Longueur maximale de 500 m à 2 km selon la fibre utilisée

Ethernet 100 Mbit ou Fast Ethernet

Application

Présentation

Session

Transport

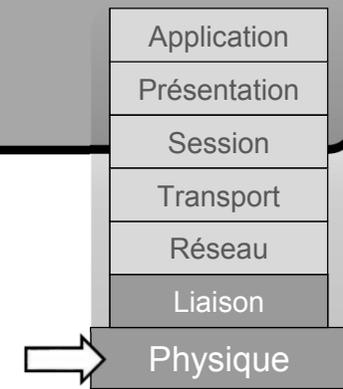
Réseau

Liaison

Physique

- **100BaseT4** : 4 paires torsadées non blindées (UTP)
 - catégorie 3, 4, ou 5,
 - 3 paires à 33 Mbps et 1 paire pour la détection d'erreur,
- **100BaseTX** : 2 paires torsadées blindées ou non (STP ou UTP)
 - catégorie 5 uniquement,
 - 1 paire émission et 1 paire réception/détection de collisions
 - le plus utilisé mais limité à 100 mètres,
 - le meilleur rapport qualité/prix du moment pour des LAN,
- **100BaseFX** : 2 brins de fibre multimode 62,5/125 microns
 - seule solution pour dépasser les 100 mètres,
 - pas de normalisation en monomode

Gigabit Ethernet



- Slot size étendue de 64 à 512 octets
- Padding jusque 512 octets
- **1000BaseX** : fibre optique
 - **1000BaseSX** : 300 (62,5 microns) à 550 m (50 microns) sur fibre optique multimode (850 nm)
 - **1000BaseLX** : 3 km sur fibre optique monomode (9 microns, 1300 nm)
 - **1000BaseCX** : 25 mètres sur « twinax » (STP)
- **1000BaseT** : 4 paires torsadées non blindées (UTP)
 - catégorie 5 uniquement,
 - limité à 100 mètres,
 - taille du réseau limitée à 200 mètres de diamètre,
 - produits de plus en plus abordables

10 Gigabit Ethernet

Application

Présentation

Session

Transport

Réseau

Liaison

Physique

- Produits commercialisés depuis 2002
- Ne fonctionne qu'en mode commutation totale
- Distances de connexion de 2m à 40km sur fibre optique
- Norme **10GbaseT** ratifiée en juillet 2006
 - paire torsadée uniquement de catégorie 6
 - distance maximum de 37 m
 - seuls des câbles de catégorie 7 pour atteindre 100 m (connectique GG45 de Nexan)

Composants du réseau local

Application

Présentation

Session

Transport

Réseau

Liaison

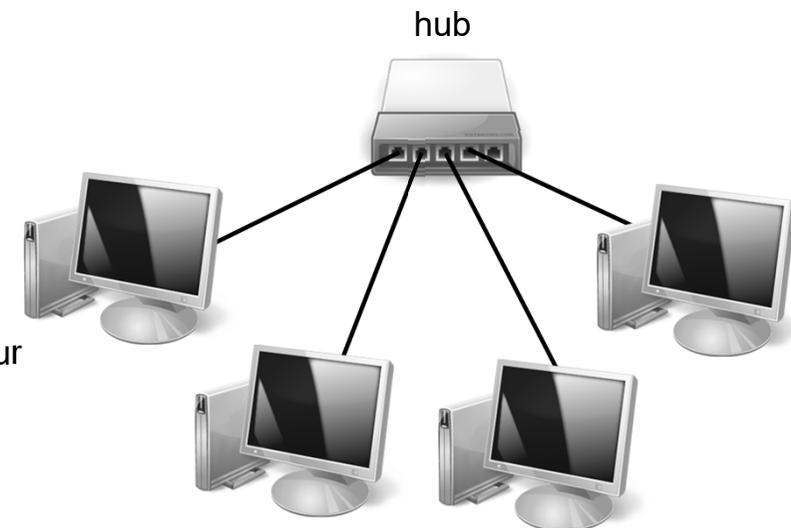
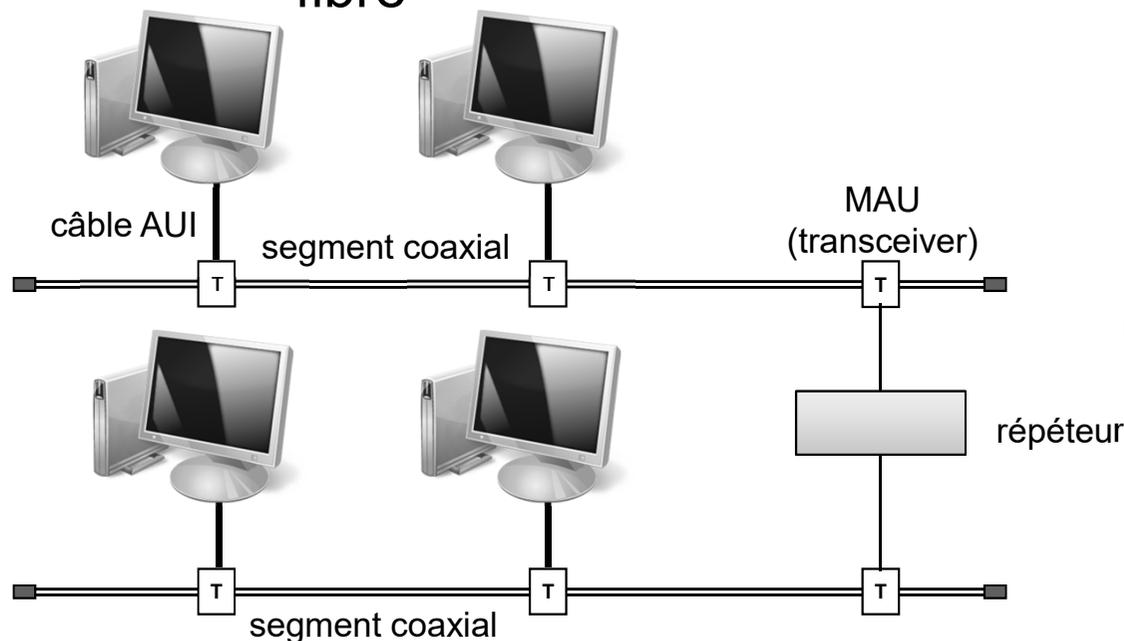
Physique



- Répéteur

- Peut se présenter sous différentes formes et appellations :

- répéteur bi-port interconnectant 2 segments
- concentrateur ou *hub* au centre d'une topologie étoilée (cuivre)
- *étoile optique* (active ou passive) lorsque le média est de la fibre



Composants du réseau local

Application

Présentation

Session

Transport

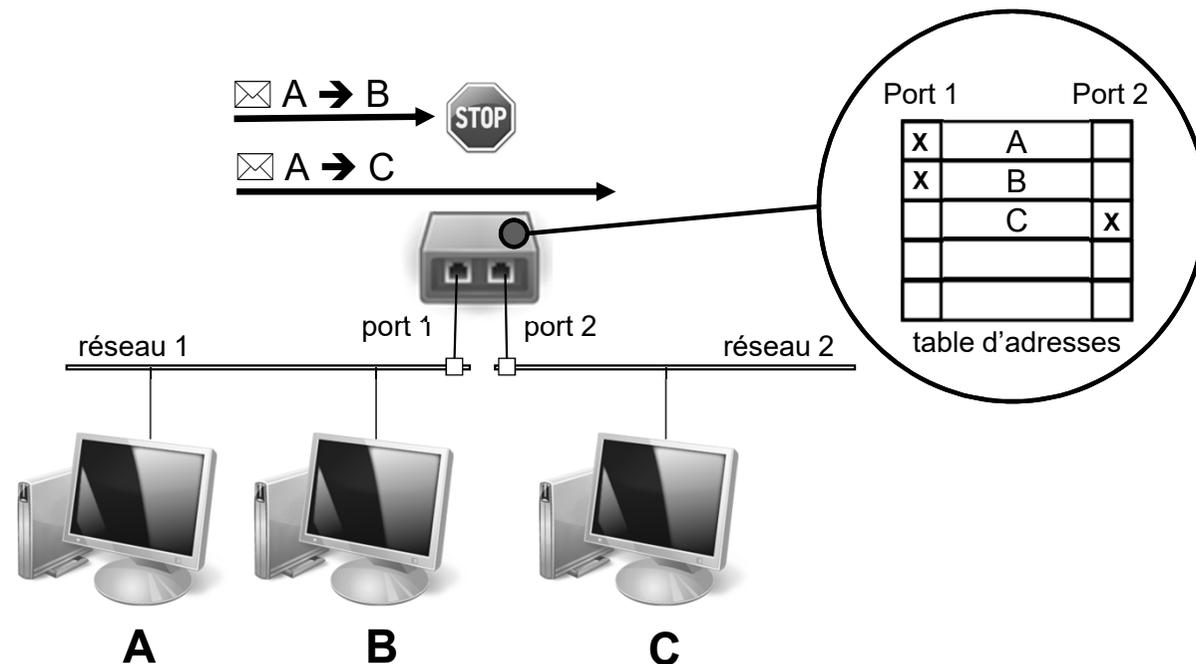
Réseau

Liaison

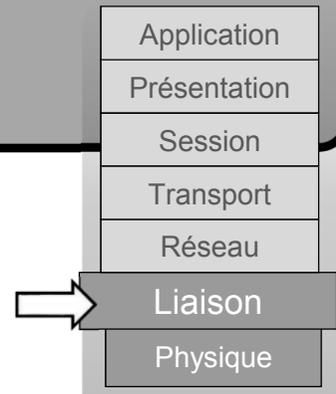
Physique

- Pont

- répéteur filtrant
- permet de relier deux segments de réseaux entre eux
- ne passent sur la voie que les trames destinées à l'autre segment
 - évite donc l'encombrement d'une partie du réseau par des trames qui ne le concernent pas

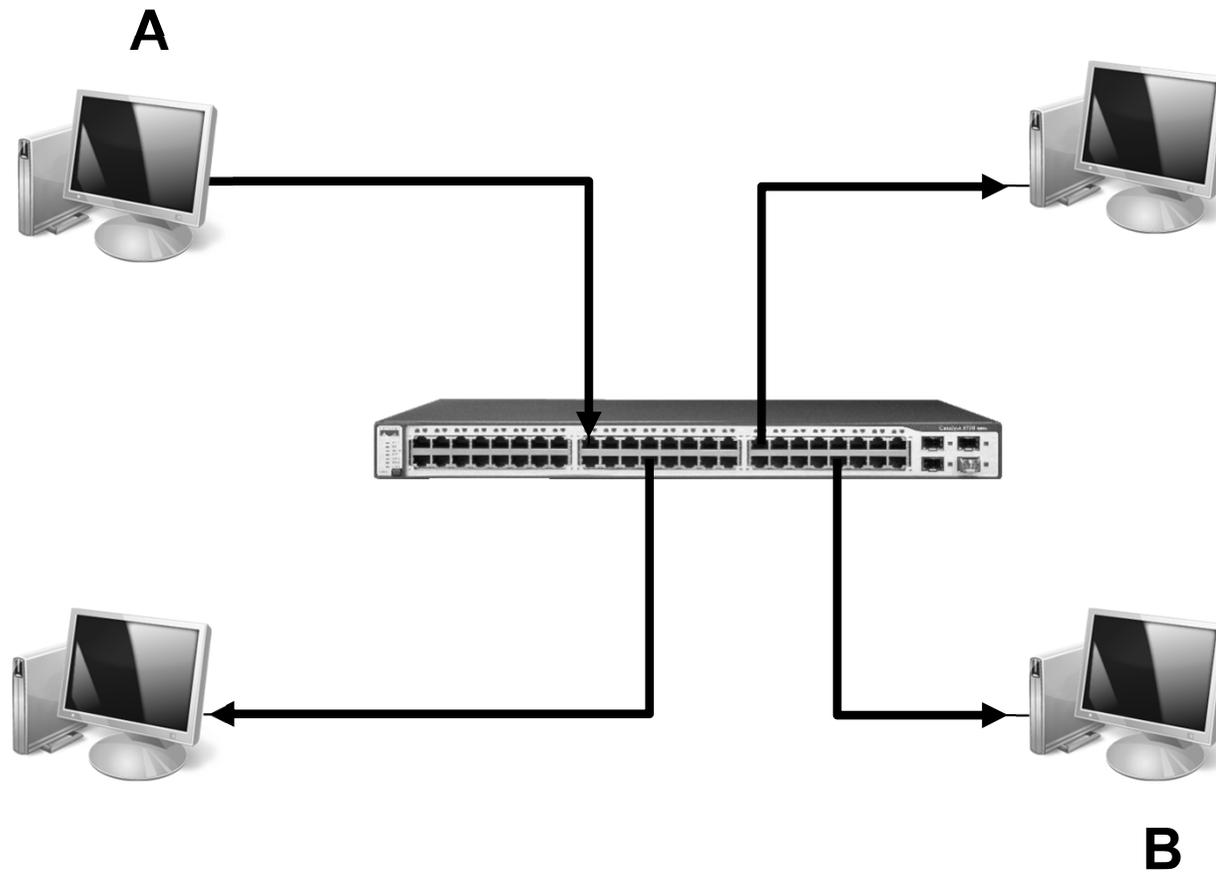
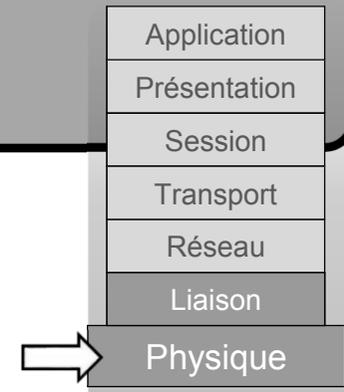


Composants du réseau local



- **Commutateur ou *switch***
 - Se présente comme un pont multi-ports performant
 - Répéteur filtrant qui distribue les trames uniquement sur la (les) voie(s) concernée(s)
 - A l'aspect d'un hub, chaque carte réseau est reliée directement à un port du commutateur (commutation par port)
 - Possibilité de mettre un réseau Ethernet sur chaque port (commutation par segment)

Concentrateur Ethernet



Commutateur Ethernet

Application

Présentation

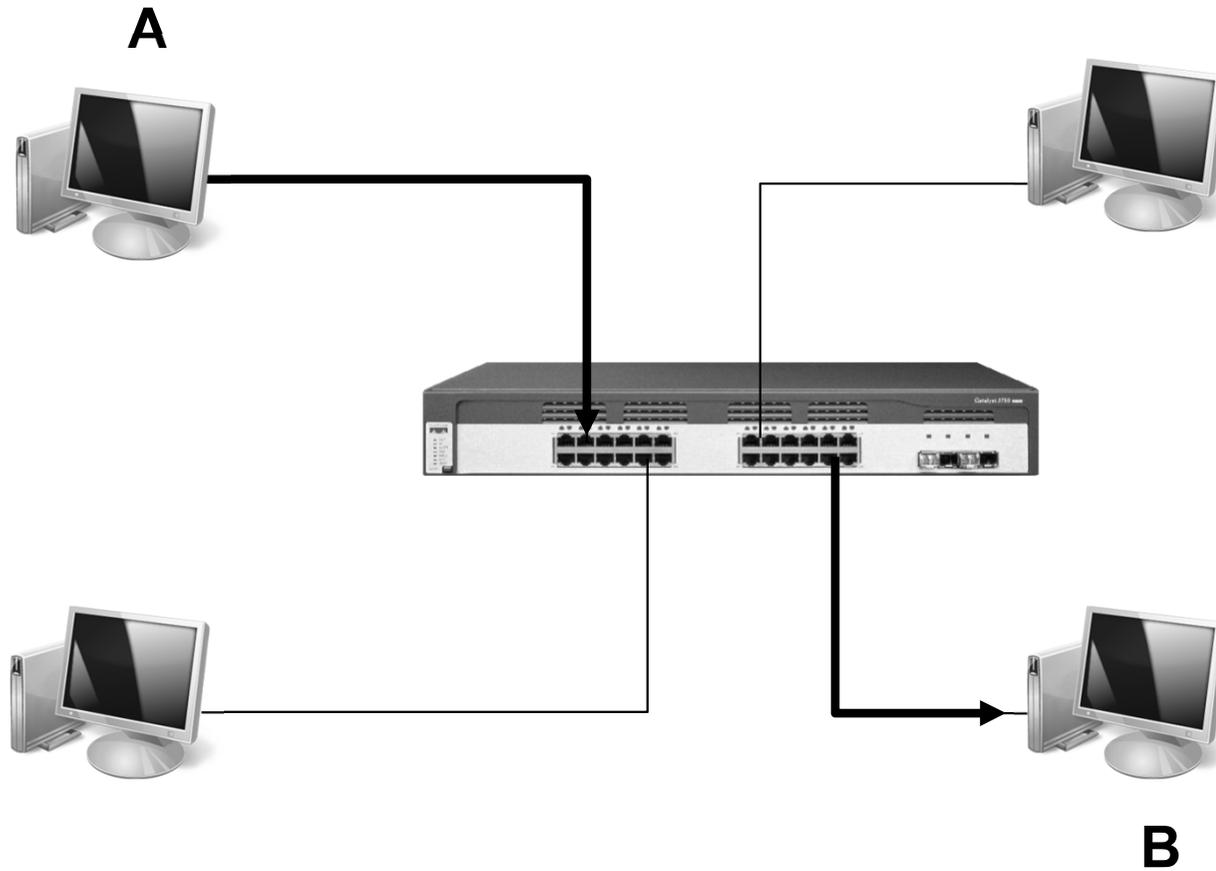
Session

Transport

Réseau

Liaison

Physique



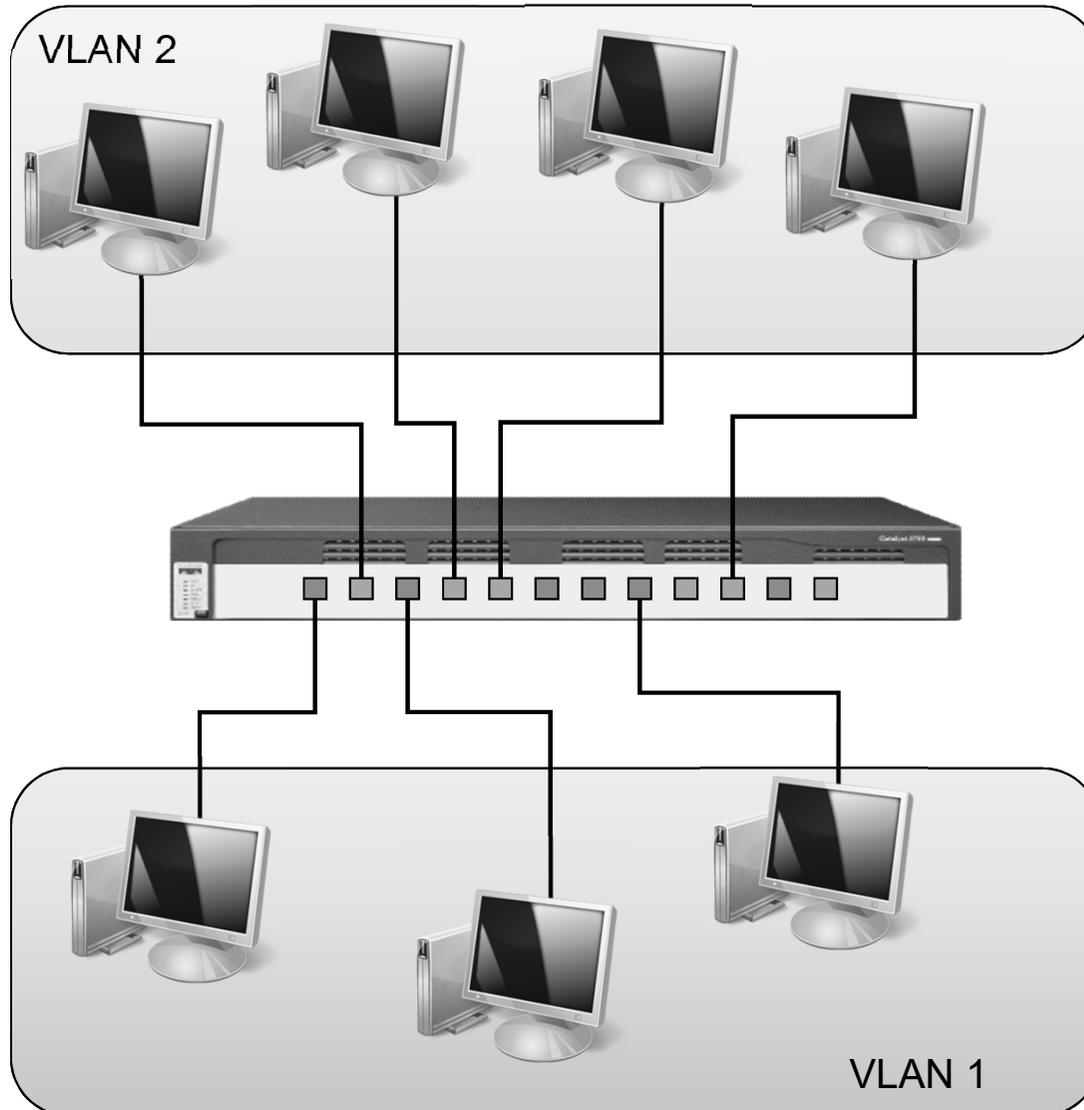
Classes de commutateurs

- Type de ports offerts
 - Ports Ethernet à 10/100 Mbps
 - Ports hauts-débits : 1000BASE-T/S/X
- Niveau de fonctionnement
 - De niveau 2
 - filtre les trames en fonction de leurs adresses MAC
 - De niveau 3
 - capable d'analyser les paquets dans les trames, donc de filtrer en fonction d'informations de niveau réseau (adresses, types de protocoles : IP ou IPX)
- Capacité à gérer des réseaux virtuels ou VLAN

La construction de VLAN

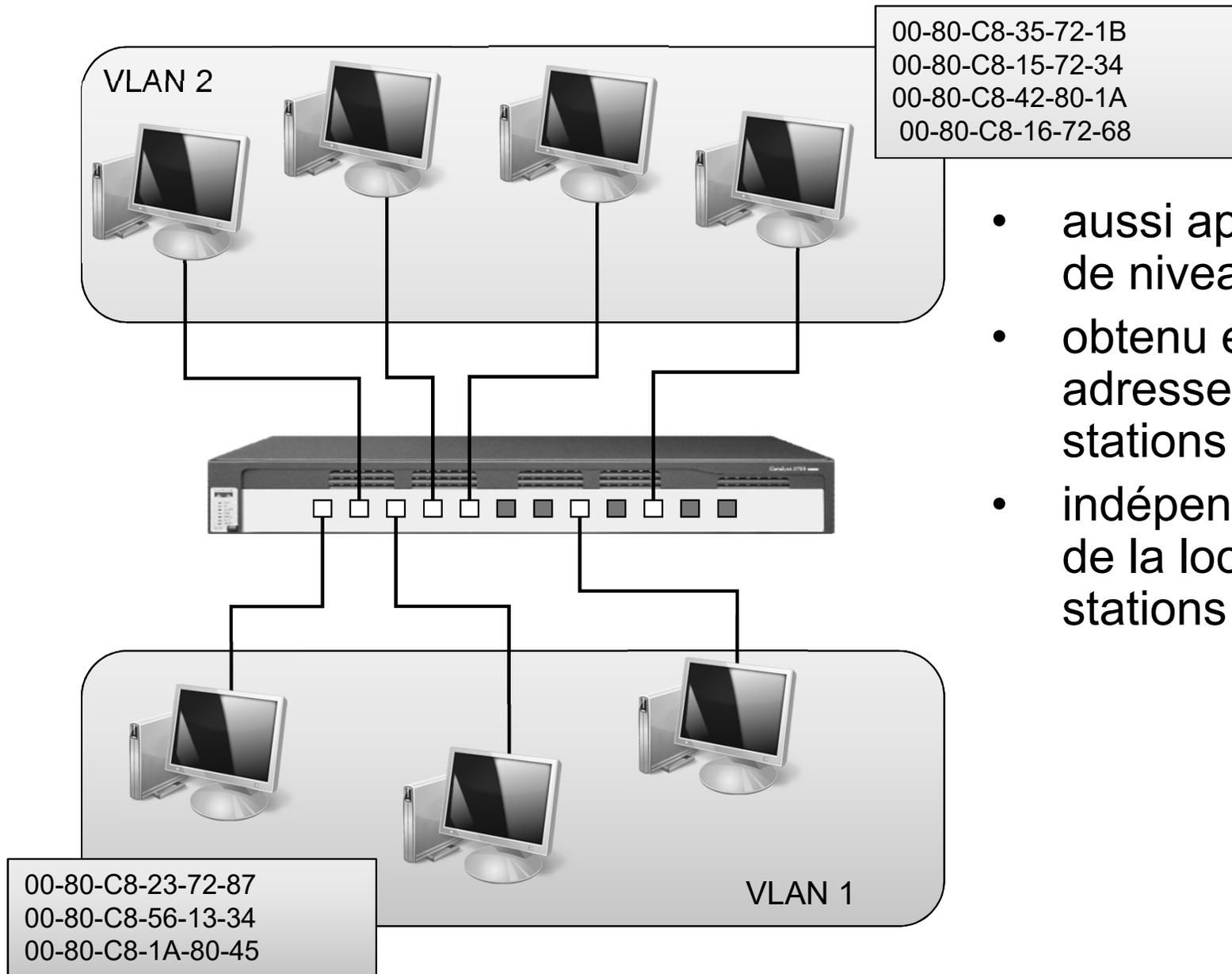
- Concept de Réseau Local Virtuel
 - VLAN = *Virtual Local Area Network*
 - Apparu comme nouvelle fonctionnalité avec le développement des commutateurs
 - VLAN = un domaine de diffusion (*broadcast domain*)
 - un message émis par une station d'un VLAN donné ne pourra être reçu que par les autres stations de ce même VLAN
 - un VLAN résultera du regroupement logique de deux stations ou plus, ce regroupement étant effectué par logiciel
 - plusieurs méthodes de construction de VLAN

VLAN par port



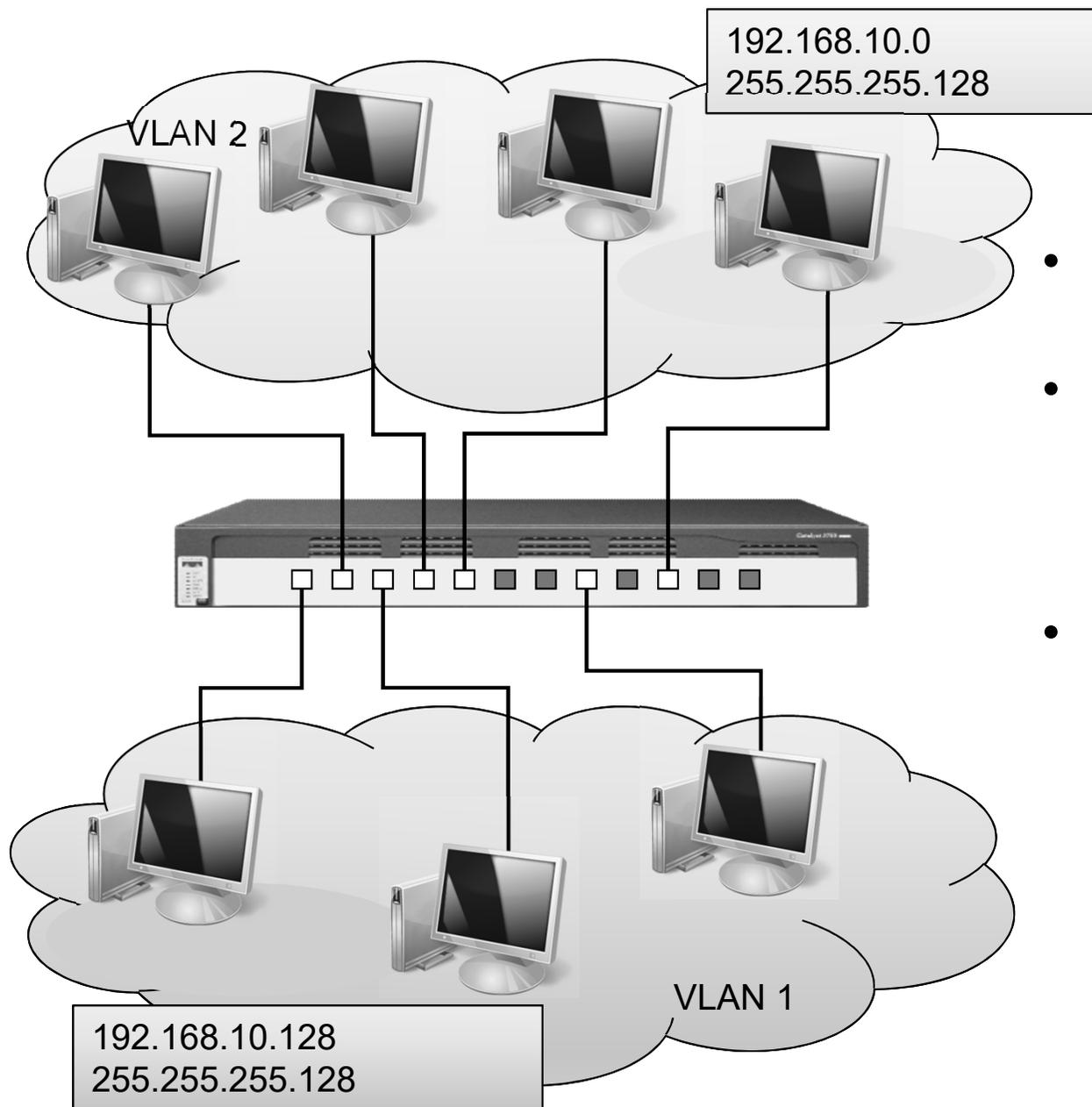
- aussi appelé VLAN de niveau 1
- obtenu en associant chaque port du commutateur à un VLAN particulier
- solution simple rapidement mise en œuvre par les constructeurs

VLAN par adresse MAC



- aussi appelé VLAN de niveau 2
- obtenu en associant les adresses MAC des stations à chaque VLAN
- indépendance vis à vis de la localisation des stations

VLAN par sous-réseau



- aussi appelé VLAN de niveau 3
- obtenu en regroupant les stations suivant leurs adresses de niveau 3 (IP par exemple)
- facile à mettre en place

Utilisation des VLAN

- Simplification de l'administration des LAN
 - Permet d'affecter une station à un réseau
 - sans avoir à la reconfigurer
 - sans modifier le câblage
- Meilleure utilisation de la bande passante
 - En confinant au sein d'un VLAN le trafic qui y est généré (notamment le trafic de diffusion)
- Amélioration de la sécurité
 - En isolant entre eux certains réseaux ou sous-réseaux

Les réseaux sans fil de type WLAN

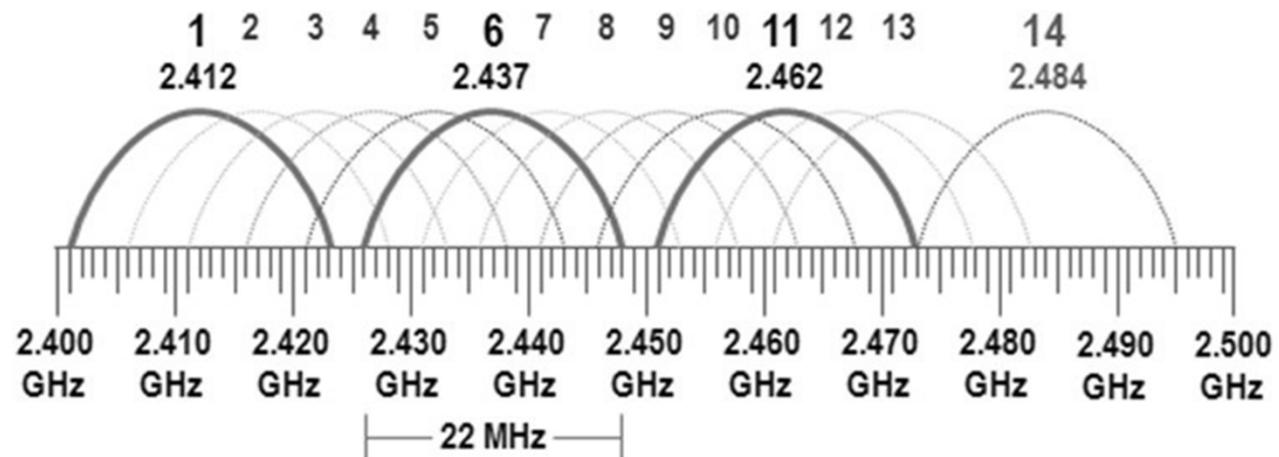


- HiperLAN (*High performance Radio LAN*)
 - Développé par un comité européen
 - N'a jamais reçu de soutien de la part des leaders du marché des composants de réseaux/télécommunications
 - Utilise la bande de fréquences des 5 GHz
 - version 1 jusqu'à 24 Mb/s
 - version 2 jusqu'à 54 Mb/s
- IEEE 802.11
 - Issu des travaux de l'IEEE
 - Norme équivalente à la norme 802.3 (Ethernet) pour les réseaux filaires
 - Extensions : 802.11b, 802.11g ...
 - Deux modes de fonctionnement possibles
 - mode infrastructure
 - mode ad-hoc

Les réseaux sans fil 802.11



- IEEE 802.11b
 - Plus connu sous le nom de Wi-Fi
 - Adopté en septembre 1999
 - Débit (théorique) de 11 Mb/s sur une portée d'environ 100 m en intérieur
 - Utilise la bande de fréquences des 2,4 GHz (bande sans licences ISM – *Industrial Scientific Medical*)
 - 14 canaux de transmission différents utilisables (dont 13 canaux autorisés en France)



Les réseaux sans fil 802.11



- IEEE 802.11g
 - Norme ratifiée en juin 2003
 - Utilise également la bande des 2,4 GHz
 - Débit (théorique) de 54 Mb/s
 - Compatibilité ascendante avec la norme 802.11b



- IEEE 802.11n
 - Norme 802.11n-2009 ratifiée le 11/09/2009
 - Opère dans les bandes de fréquences 2,4 et 5 GHz
 - Débit de 100 Mb/s (dans un rayon de 90m)
 - Utilise la technologie MIMO (émission et réception simultanée sur plusieurs antennes)

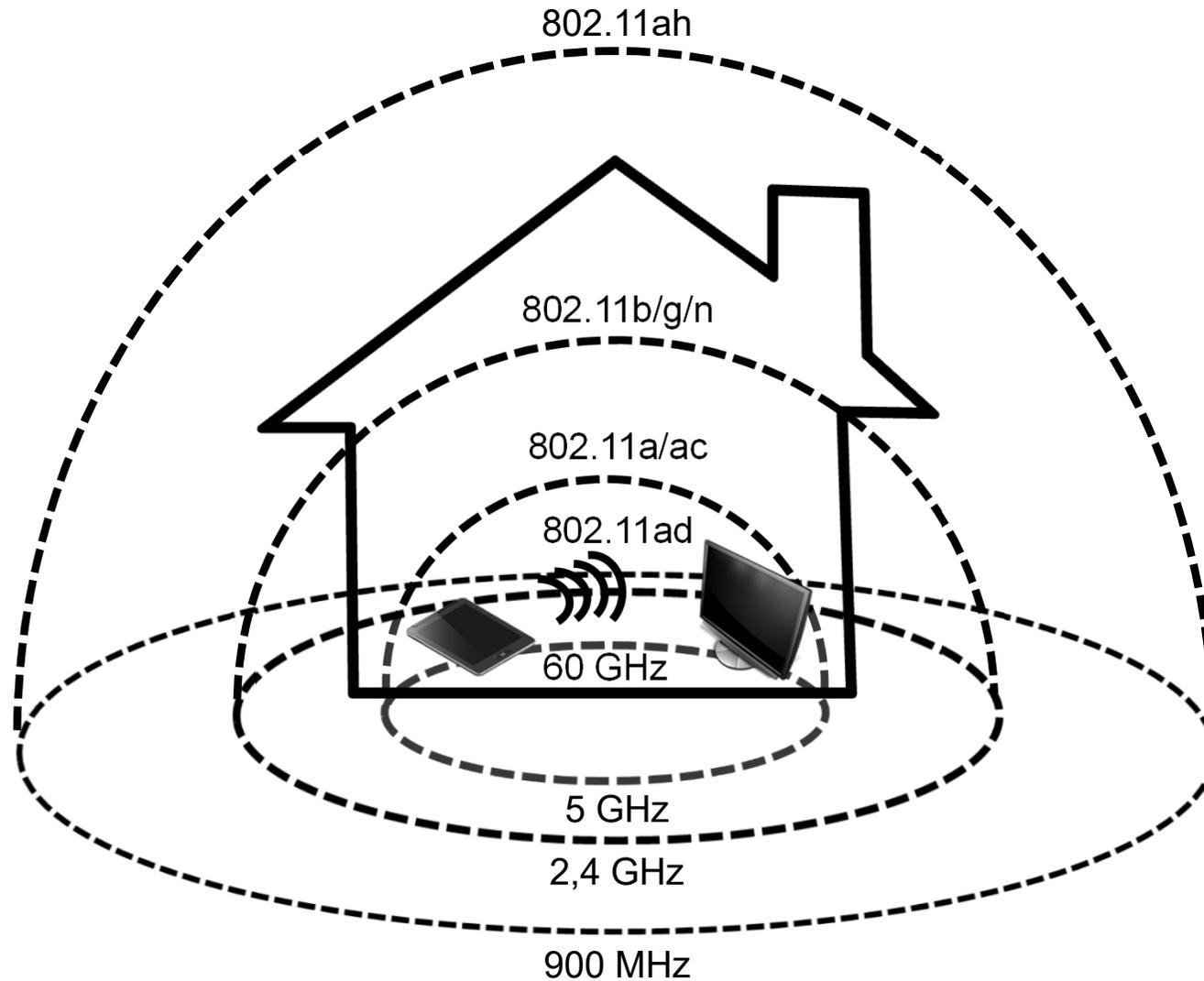


- IEEE 802.11ac
 - Normalisé le 08/01/2014
 - Utilise exclusivement une bande de fréquence comprise entre 5 et 6 GHz, avec des variations selon les pays
 - Débit théorique global de 7 Gb/s grâce notamment à l'agrégation de canaux et la technologie MIMO
 - Compatibilité ascendante avec la variante 802.11n utilisant la bande de fréquence des 5 GHz



- IEEE 802.11ad et 802.11ah
 - Approuvés respectivement en 2012 et en 2017
 - Bien qu'encore très peu utilisés (pour les particuliers), restent des technologies prometteuses
 - Utilisent de nouvelles fréquences
 - 802.11ad
 - débit max de 6,75 Gbit/s dans la bande de fréquences de 60 GHz mais une portée limitée à 10m seulement
 - devrait permettre de remplacer les liaisons par câble entre équipements
 - 802.11ah
 - débit de seulement 8 Mbit/s mais une portée maximale du signal de 100m dans la bande de fréquences de 0,9 GHz

Les réseaux sans fil 802.11



Les réseaux sans fil 802.11



- IEEE 802.11ax
 - Standard ratifié par l'IEEE en février 2021
 - Rebaptisé Wi-Fi6 par le consortium Wi-Fi Alliance dans le cadre d'une simplification de la nomenclature
 - Débit de 1,2 Gb/s par flux (contre 866 Mb/s pour le 802.11ac ou Wi-Fi 5)
 - Consommation réduite pour les appareils mobiles
 - Meilleure gestion d'un grand nombre d'appareils connectés (aéroports, gare, centres commerciaux, stades, etc.) ; prévu pour fonctionner même en cas de fortes interférences du signal
 - Rétrocompatible avec le Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac (Wi-Fi 1, 2, 3, 4 et 5) en utilisant les bandes de fréquences 2,4 GHz et 5 GHz
 - Le Wifi6E est une extension dans la bande des 6 GHz

Les réseaux sans fil 802.11

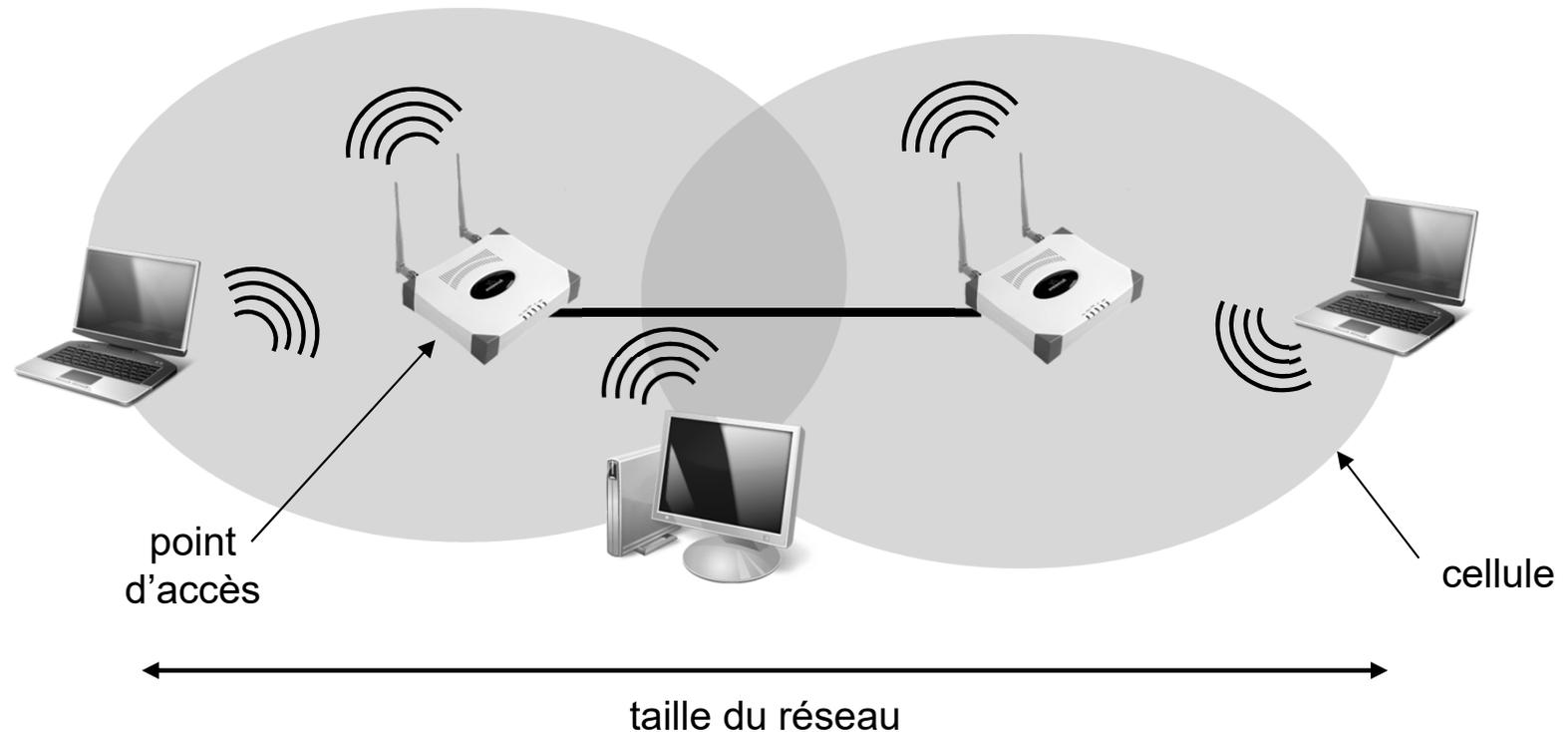


- IEEE 802.11be
 - Ratification finale attendue pour fin 2024 mais il existe déjà des produits étiquetés Wifi 7
 - Utilise les bandes de fréquences 2,4, 5 et 6 Ghz
 - A pour objectif principal un « débit extrêmement élevé » (EHT) en utilisant principalement :
 - des canaux plus larges (320 MHz au lieu des 160 MHz du Wifi 6)
 - des améliorations en termes de modulation d'amplitude en quadrature (de 1024 à 4K), ou QAM (Quadrature Amplitude Modulation)
 - une compression plus efficace pour réduire les coûts
 - un fonctionnement multi-link (les appareils peuvent envoyer et recevoir des données sur plusieurs points d'accès en même temps)

Wi-Fi : mode infrastructure



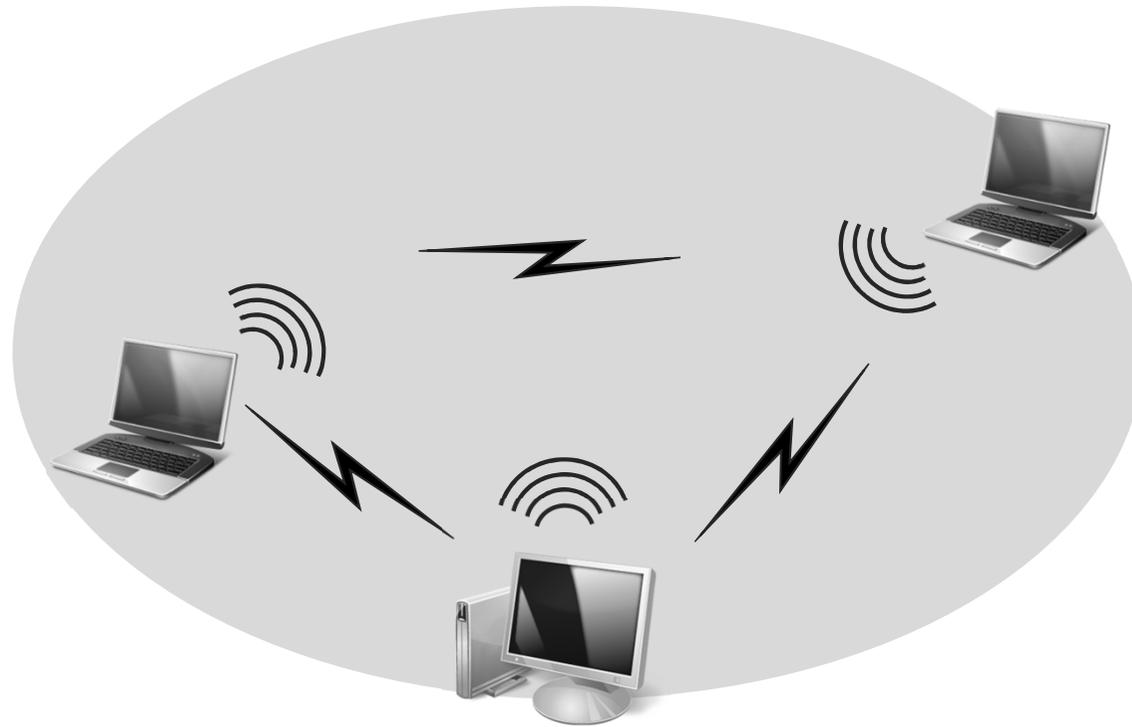
- Basé sur un ou plusieurs points d'accès
 - Les stations s'associent au(x) point(s) d'accès pour s'échanger des données
 - Les points d'accès sont reliés entre eux
 - La taille du réseau dépend de la zone de couverture du point d'accès aussi appelé **cellule**
 - Les cellules peuvent se recouvrir ou être disjointes



Wi-Fi : mode ad-hoc



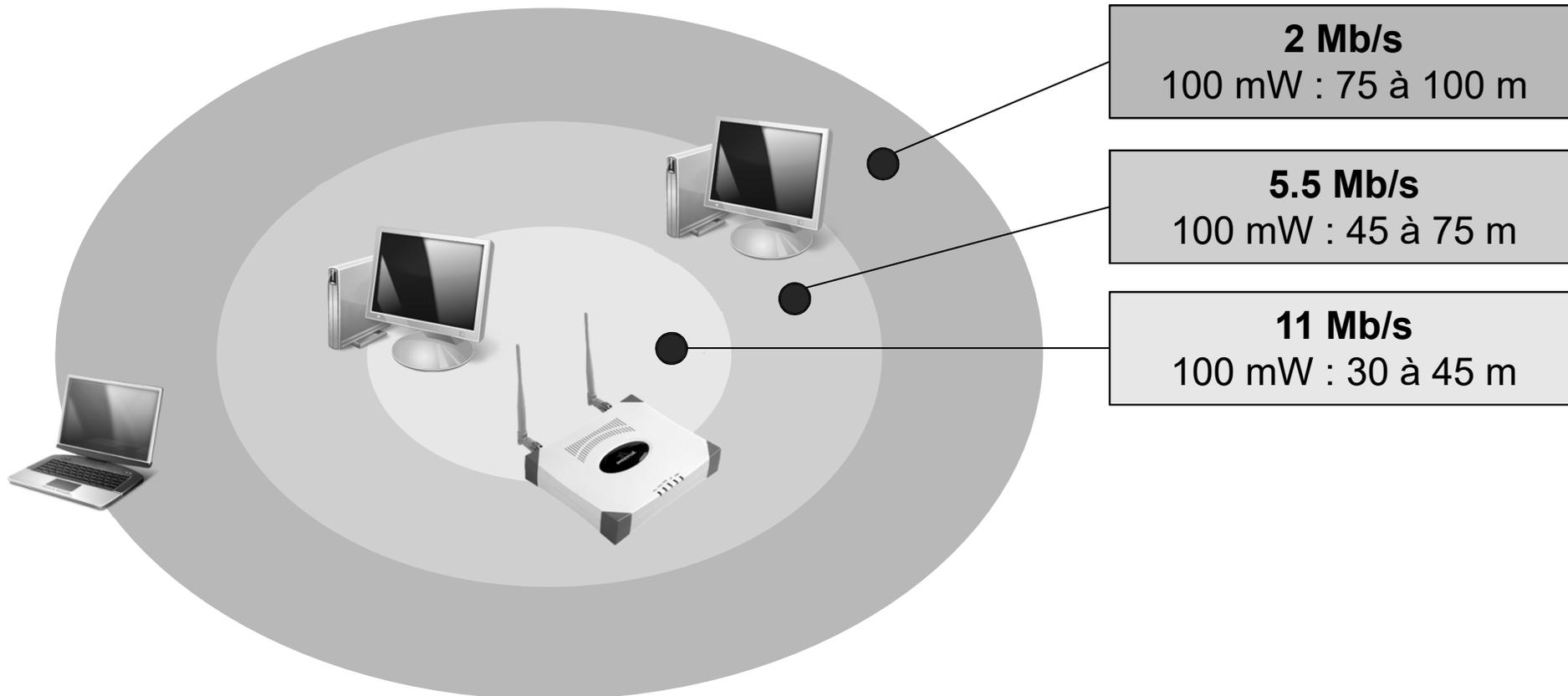
- Ne nécessite aucun point d'accès
- Les stations entrent elles-mêmes en communication
- Facile à mettre en œuvre mais limité à un nombre restreint de machines



Wi-Fi : couverture et débits



- Le débit se dégrade automatiquement selon la distance et l'environnement (type de construction, interférences ...)



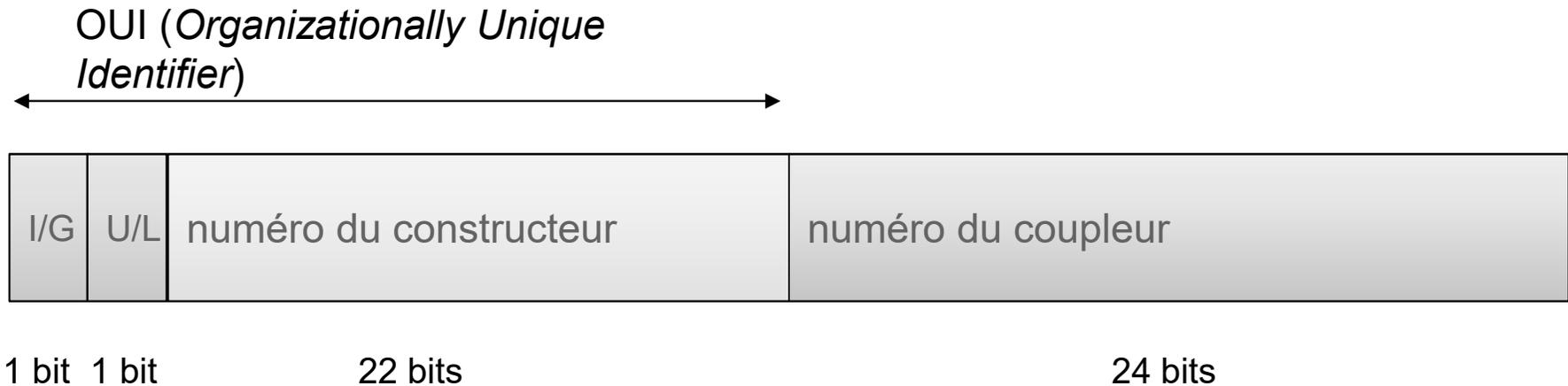
Format d'adressage et de trames



Adressage MAC

- Permet d'identifier chaque coupleur connectée au réseau
- Adresse MAC
 - le plus souvent implémentée de façon statique (inscrite en ROM) dans le coupleur
 - adresse « physique » car attachée à un matériel (\neq logique)
 - unique au monde
 - absolue (\neq hiérarchique)
- Le comité IEEE 802 a défini un adressage uniforme pour toutes les technologies LAN qu'il a standardisées
 - adresse codée sur 48 bits

Adressage MAC



I/G : *Individual/Group* = 0 adresse individuelle

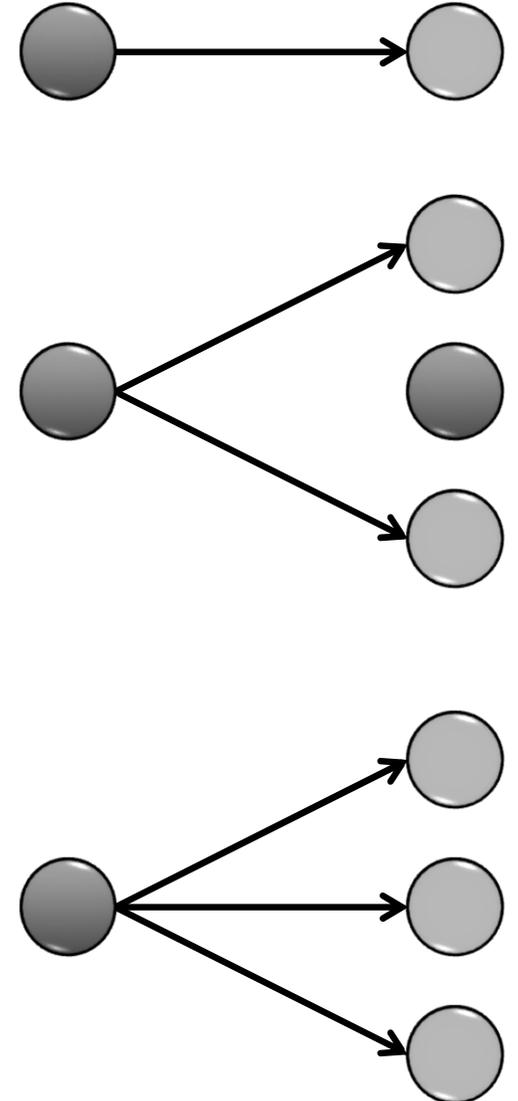
1 adresse de groupe

U/L : *Universal/Local* = 0 adresse administrée globalement

1 adresse administrée localement

Adressage MAC

- 3 types d'adressage
 - *Unicast*
 - Concerne une seule station
 - Bit I/G à 0
 - *Multicast*
 - Concerne un groupe de station
 - Bit I/G à 1
 - *Broadcast*
 - Concerne toutes les stations
 - Tous les bits à 1 :
FF-FF-FF-FF-FF-FF



Principes d'Ethernet

Application

Présentation

Session

Transport

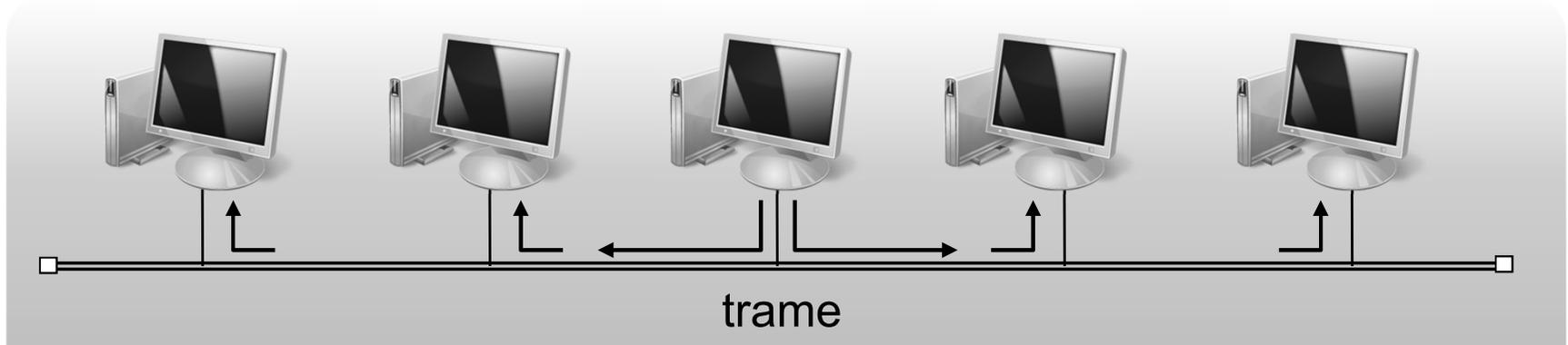
Réseau

Liaison

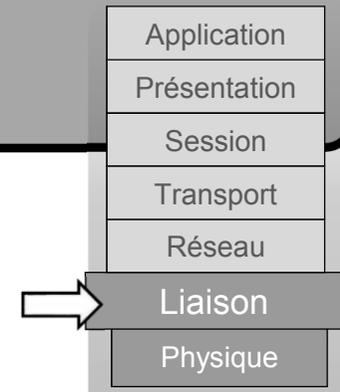
Physique

- Support de transmission **partagé** entre tous les appareils
 - brin = segment = bus = câble coaxial
 - pas de boucle
 - pas de sens de circulation

⇒ **Méthode de contrôle d'accès nécessaire** pour gérer la concurrence
- Chaque carte Ethernet possède une adresse unique au niveau mondial (adresse MAC)
- Une seule trame circule à un instant donné
- Réception par tous les *transceivers* du réseau d'une trame émise par une station

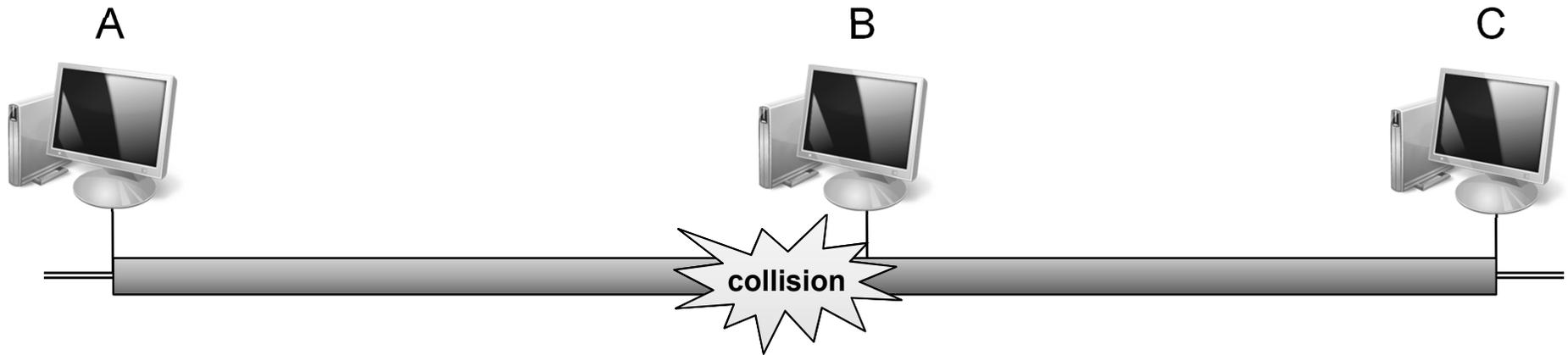


Méthode d'accès au support

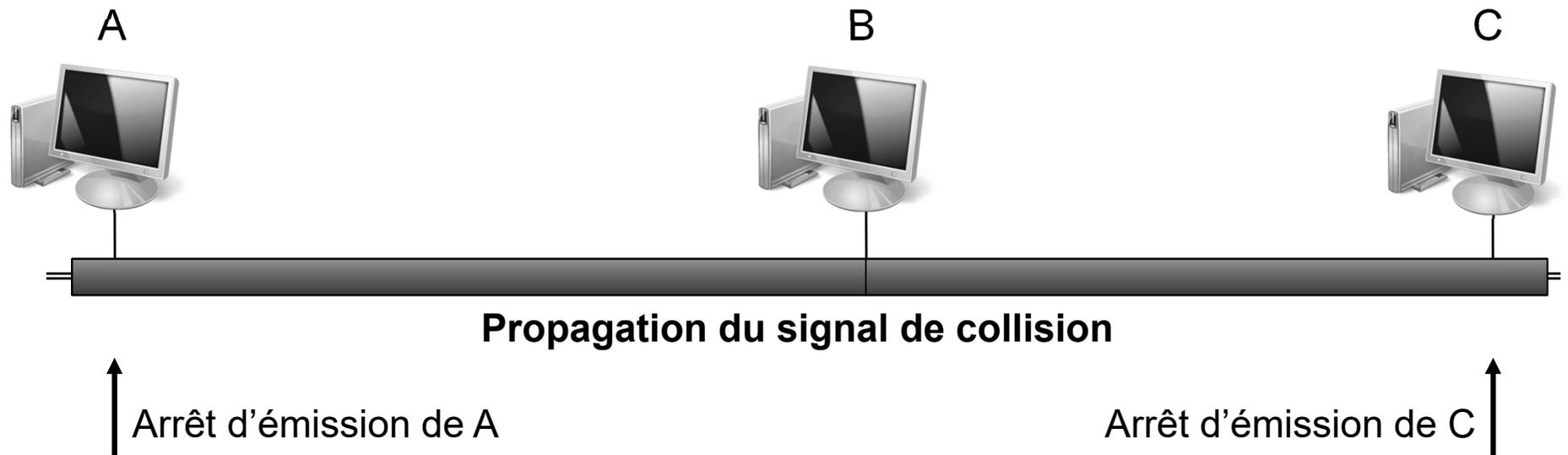


- Méthode d'accès basée sur le CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*)
 - Si rien à transmettre, alors station silencieuse
 - Si besoin d'émettre
 - écoute pendant 96 bit-time minimum (IFG)
 - si quelqu'un émet on recommence à écouter
 - sinon envoi de la trame mais écoute pendant 512 bit-time (slot-time)
 - si trafic reçu pendant slot-time alors collision !!!
 - si collision alors émission d'un jam (enforcement de collision) pour que tout le monde détecte la collision pendant au moins 32 bit-time
 - attente d'un délai aléatoire (algorithme de backoff) avant réémission

Collision : exemple



Collision : exemple



Format des trames Ethernet (à 10 Mbit/s)

Application

Présentation

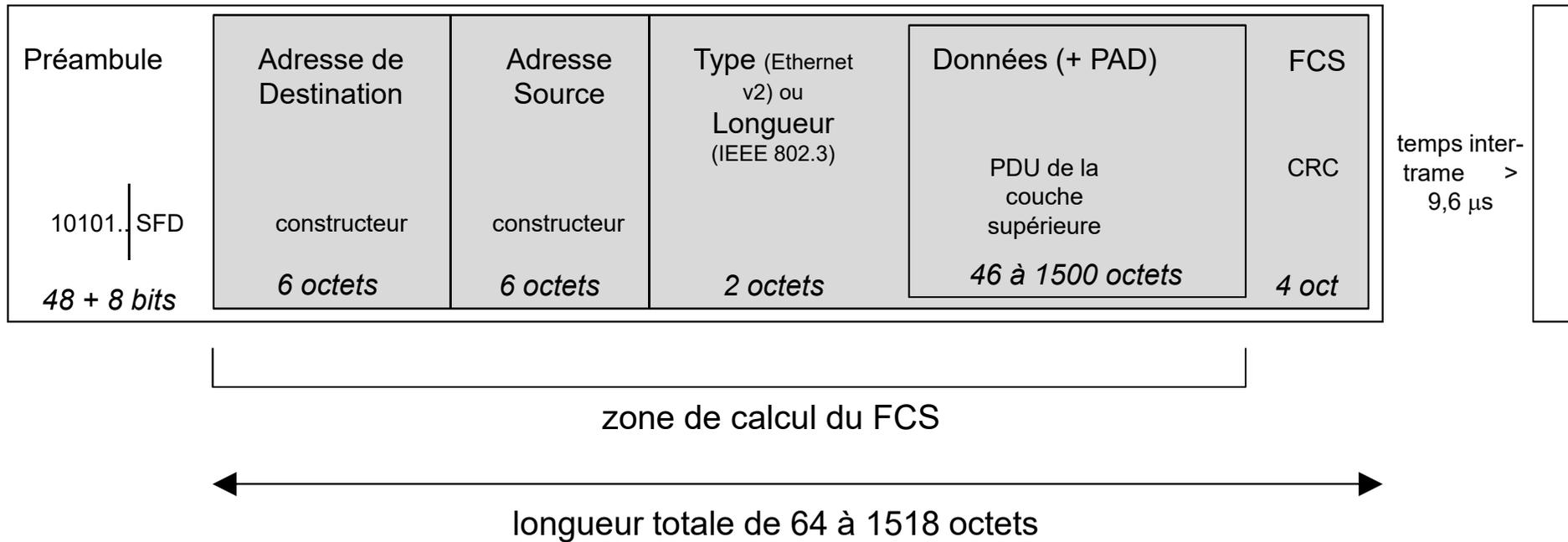
Session

Transport

Réseau

Liaison

Physique



Format des trames Ethernet

Application

Présentation

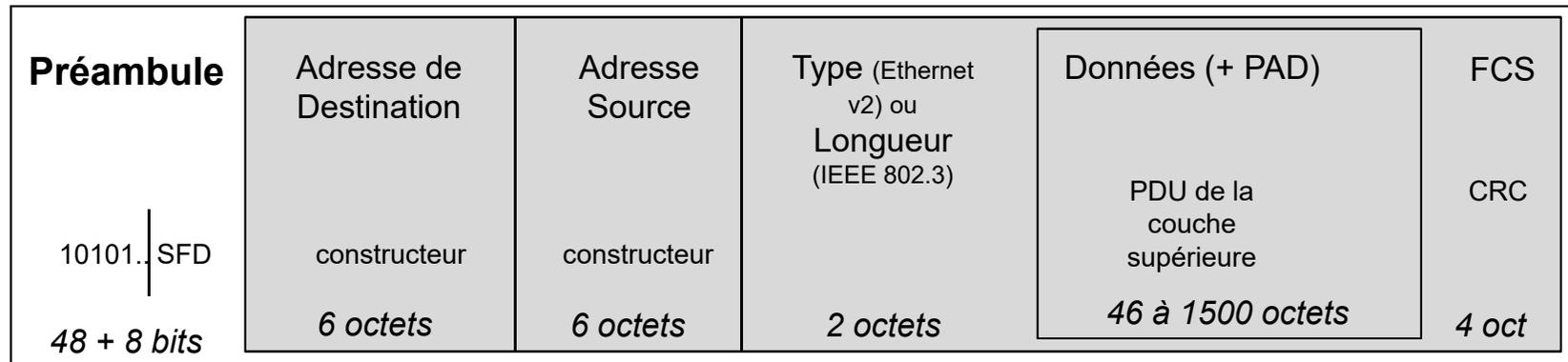
Session

Transport

Réseau

Liaison

Physique



- Préambule de 56 bits :
 - 48 bits successivement à 1 et à 0 servant à la synchronisation des horloges
 - + une série de 8 bits 10101011 appelée SFD (Start Frame Delimiter), dont les deux derniers bits à 1 déclenchent la lecture de la trame

Format des trames Ethernet

Application

Présentation

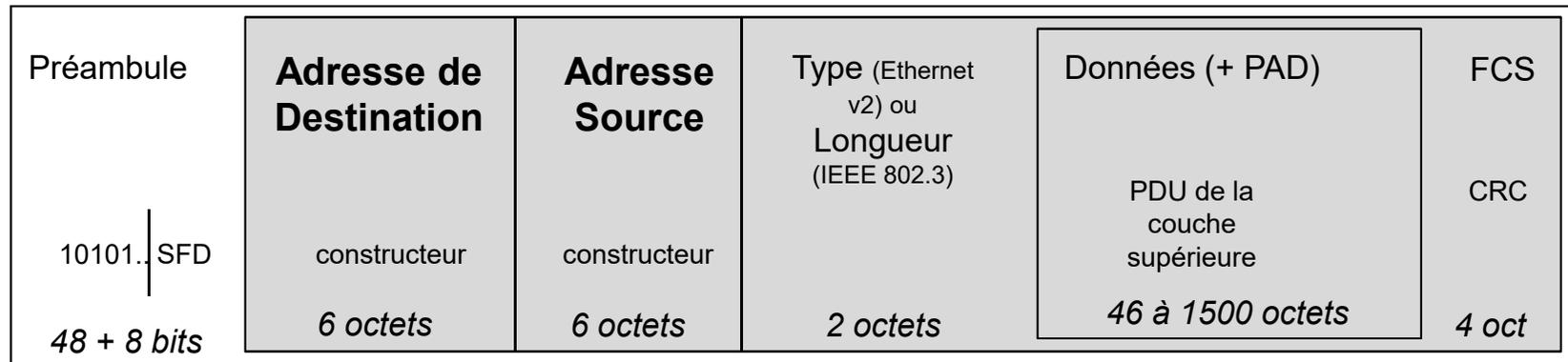
Session

Transport

Réseau

Liaison

Physique



- Adresses uniques attribuées par l'IEEE (notation hexadécimale)
 - 08:00:20:xx:xx:xx pour Sun
 - 00:00:0C:xx:xx:xx pour Cisco
 - 00:A0:24:xx:xx:xx pour 3Com
- diffusion de groupe (*multicast*) : 01:00:5E:xx:xx:xx
- diffusion (*broadcast*) : FF:FF:FF:FF:FF:FF

Format des trames Ethernet

Application

Présentation

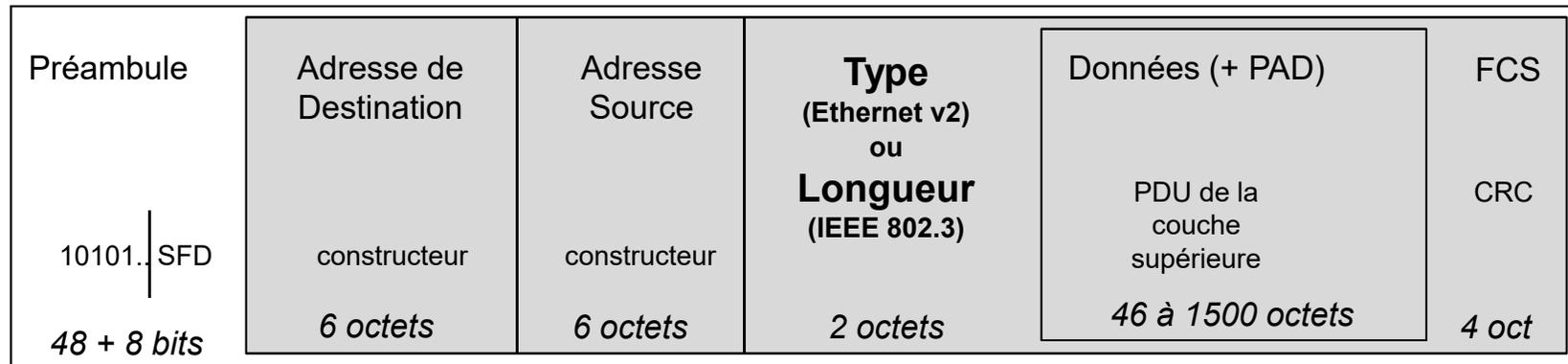
Session

Transport

Réseau

Liaison

Physique



- Champ **type** identifie le protocole utilisé dans la trame
 - administré globalement par Xerox (valeur supérieure à 1500)
 - liste dans le fichier `/usr/include/netinet/if_ether.h`
 - `0x0800` : IP
 - `0x0806` : ARP

Format des trames Ethernet

Application

Présentation

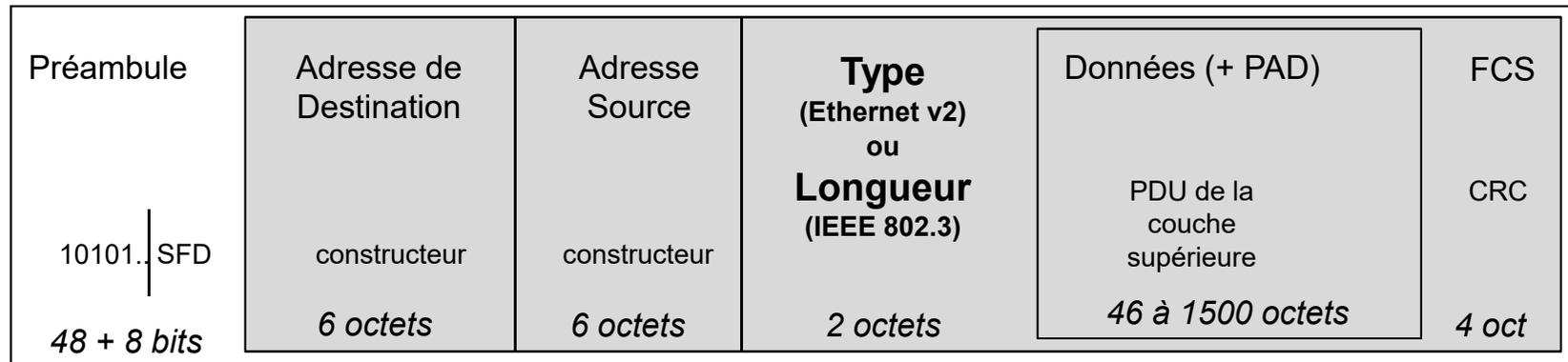
Session

Transport

Réseau

Liaison

Physique



- Champ type identifie le protocole utilisé dans la trame
 - administré globalement par Xerox (valeur $\geq 0x600$)
 - liste dans le fichier `/usr/include/netinet/if_ether.h`
 - `0x0800` : IP
 - `0x0806` : ARP
- Longueur des données (hors PAD) si pas de type
 - défini dans le standard IEEE (valeur $\leq 0x5DC$)

Format des trames Ethernet

Application

Présentation

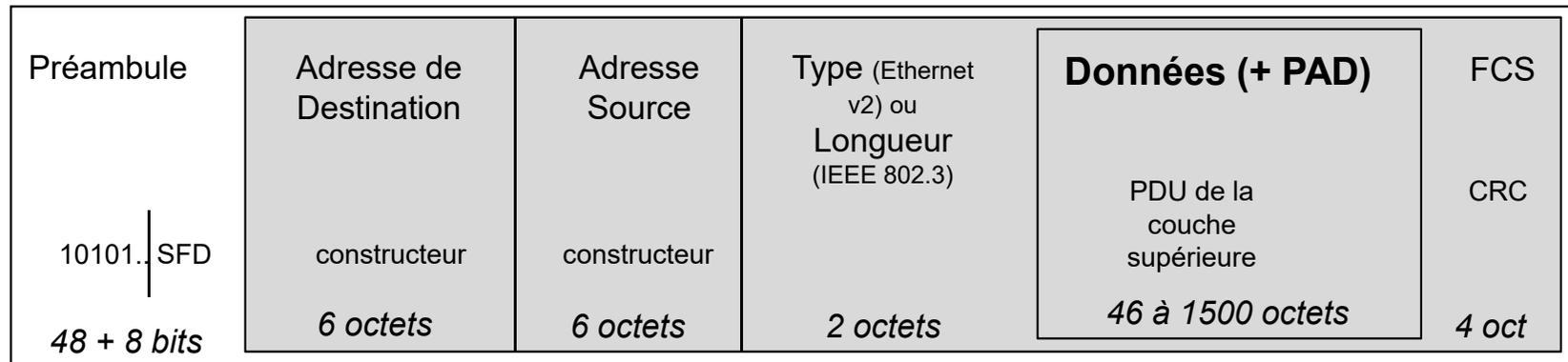
Session

Transport

Réseau

Liaison

Physique



- Données utiles
 - de 1 à 1500 octets
 - MTU maximum de 1500 octets
 - si moins de 46 octets alors bourrage (*padding*) pour faire au moins 46 octets

Format des trames Ethernet

Application

Présentation

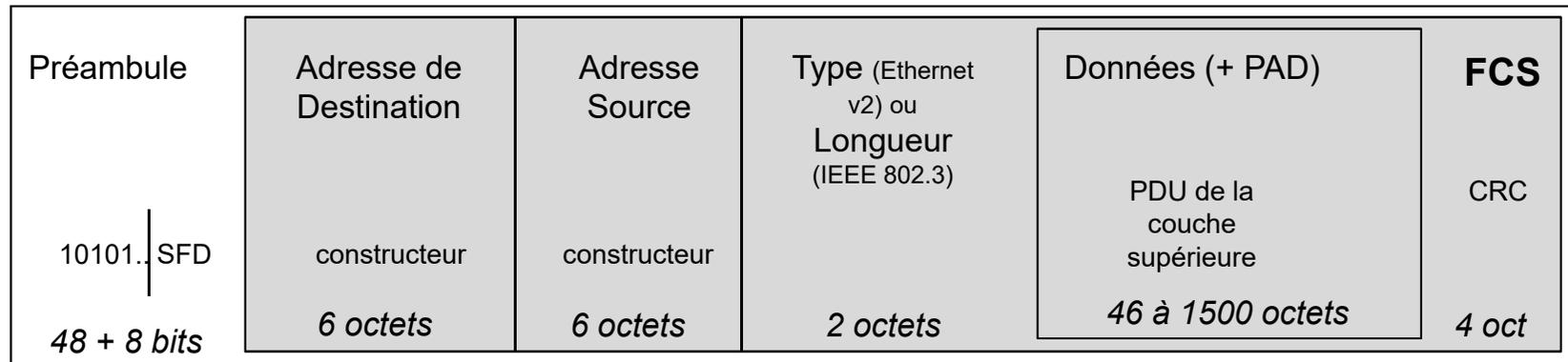
Session

Transport

Réseau

Liaison

Physique



- FCS (*Frame Control Sequence*)
 - Code détecteur d'erreur
 - CRC calculé sur la totalité de la trame