

# Cours de réseaux

**M1 Informatique**  
**Faculté Jean Perrin**



# Plan du cours

Partie 1 : Introduction

Partie 2 : Couche physique

**Partie 3 : Couche liaison des données**

Partie 4 : Couche Réseau / IPv4

Partie 5 : Couche Réseau / Routage

Partie 6 : Couche Réseau / IPv4, IPv6

Partie 7 : Couche transport : TCP et UDP

Partie 8 : Couche application

Partie 9 : Couche application / Etude de protocoles

Partie 10 : Notions d'attaques et de sécurité

# Partie 3

## Couche Liaison de données

# Vous êtes ici

## Modèle OSI

|   |              |
|---|--------------|
| 7 | Application  |
| 6 | Présentation |
| 5 | Session      |
| 4 | Transport    |
| 3 | Réseau       |
| 2 | Liaison      |
| 1 | Physique     |



Paquet ->Trame

Trame -> bits

## TCP/IP

|   |
|---|
| <i>Applications</i><br><i>Services Internet</i> |
| <i>Transport (TCP)</i>                          |
| <i>Internet (IP)</i>                            |
| <i>Accès au Réseau</i>                          |

# A la fin de ce chapitre...

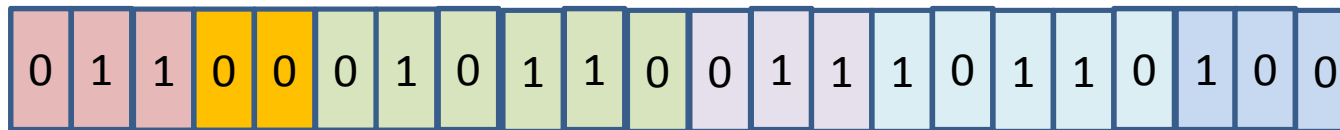
Nous serons capables de

- Décrire le rôle de la couche liaison de données dans la transmission des données et notamment comment elle prépare les données devant être transmises sur le support du réseau.
- Décrire les différents types de méthodes de contrôle d'accès au support et comment déterminer la méthode de contrôle à utiliser en fonction de la topologie du réseau logique.
- Décrire la structure de trame de la couche 2 et d'identifier les champs génériques et l'appliquer à un cas réel (Ethernet).

# Vocabulaire - PDU manipulé

**PDU** : Protocol Data Unit

**Trame** : unité de données des protocoles de couche 2 (**L-PDU** : Link Protocol Data Unit).



# Vocabulaire

**Support physique** : média permettant de procéder au transfert des données entre deux nœuds.

- câble en cuivre
- fibre optique
- air

# Vocabulaire

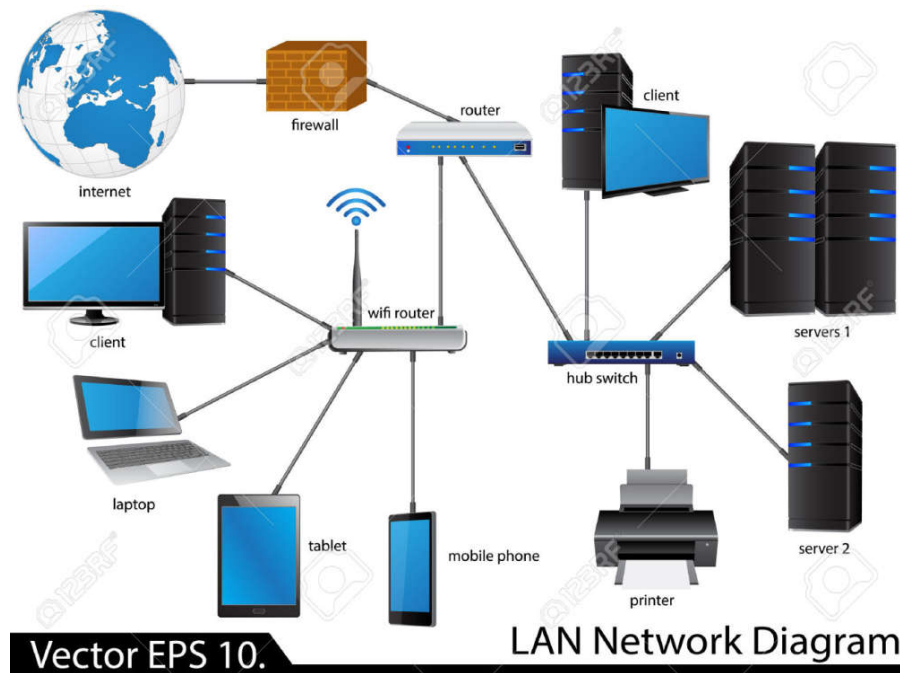
**Nœud** : périphérique connecté à un ou plusieurs supports et situé sur le réseau.





# Vocabulaire

**Segment réseau** (réseau physique) : portion d'un réseau constitué d'au moins deux nœuds connectés à un support commun.



## Rôle principal de la couche liaison

En s'appuyant sur la couche physique, la couche liaison offre une **connexion locale** à la couche supérieure (couche réseau).

Le champ d'action de la couche liaison est le LAN ou un segment du WAN.

## Rôles de la couche liaison

La couche LdD est **responsable** de l'échange des trames entre les nœuds via les supports d'un réseau physique.

Prend en charge les processus de communication de **chaque** support.

Transmet (resp. reçoit) les données vers (resp. depuis) le réseau en assurant que la transmission soit **fiable**.

## Comment ?

- Prépare les paquets de la couche réseau de manière à leur permettre de transiter sur les **différents réseaux physiques** (segments réseau).
- Contrôle l'accès aux supports physiques et le placement des données sur ceux-ci
- Détection (et correction) des erreurs -> fiabilité

# Types d'erreurs possibles

Il existe plusieurs types d'erreurs possibles lors de la transmission d'une séquence de bits.

Lesquels ?

# Types d'erreurs possibles

- Erreur de type **Modification** : la séquence de bits reçue est différente de celle qui a été envoyée.
- Erreur de type **Omission** : la séquence de bits envoyée n'est pas reçue.
- Erreur de type **Addition** ou **Duplication** : une séquence de bits est reçue alors qu'aucune séquence n'a été envoyée ou encore une même séquence de bits est reçue deux fois.

## Et si LdD n'existait pas...

Le protocole de la couche réseau devrait pouvoir s'adapter à chaque type de support pouvant être rencontré.

Cas de nouveaux types de supports ?

Ah bon ??!!!

La couche physique ne suffit pas pour ça ???

**Réponse primaire :**

Non.... Mais vous comprendrez après...

**Élément de réflexion :**

Imaginez par exemple que deux systèmes différents veuillent envoyer des données sur le même support physique...



# Exemple de protocole de couche LdD

- MPLS : Multiprotocol Label Switching
- HDLC : High-Level Data Link Control
- FDDI : Fiber Distributed Data Interface
- Token Ring
- PPP : Point-to-Point Protocol
- Ethernet

# Fonctions du protocoles LdD

**Formatage** des trames (délimitation et identification)

**Gestion** de la liaison de données : établissement et libération de la liaison sur circuit physique

**Supervision** du fonctionnement selon

- Mode de transmission (synchrone/asynchrone)
- Mode de communication (simplex, half-duplex, full-duplex)
- Type de liaison (point-à-point, multipoint)
- Mode d'échange (hiérarchique ou symétrique)

**Identification** de l'émetteur et du récepteur (adressage)

**Contrôle** d'erreur

**Contrôle** de flux : permet d'éviter la saturation du récepteur

## Pour résumer

La couche LdD est étroitement liée à la couche physique. Elle permet d'assurer

- **son accessibilité** : plusieurs systèmes peuvent accéder au même segment physique.
- **sa fiabilité** : détection et correction des erreur
- **son indépendance** : c'est la couche LdD qui s'adapte aux différents supports et techno existants et joue les intermédiaire avec les couches supérieures.

# Exemple de mise en œuvre de la couche liaison de données : ethernet

# Un peu de culture

Pourquoi ce nom... **Ethernet** ?

# Découpage en sous-couches

Certaines implémentations comme Ethernet proposent un découpage de la couche 2 en deux sous-couches.

- **LLC** : Logical Link Control. (sous-couche haute) en charge de la « qualité » de la communication (gestion du flux et des erreurs).
- **MAC** : Media Access Control (sous-couche basse) contrôle l'accès au support physique.

# Découpage en sous-couches

## Pourquoi ?

Permet de séparer proprement la partie proche du matériel (couche MAC) de la partie proche des couches supérieures (LLC).

# La couche MAC



# Fonctions de la couche MAC

## Adaptation au canal utilisé

- **Régulation des émissions** sur le support physique : gestion des collisions
- Définition éventuelle de contrainte sur la trame (ex. sa taille)
- Optimisation de l'utilisation du canal

Définition des méthodes de repérage des émetteurs et récepteurs : **adressage physique** (*eg.* adresses MAC) -> notion de réseau local.

# Contrôle d'accès aux supports

Définit les règles d'accès aux différents supports.

Peut être abordé sous deux angles :

- Manière dont les nœuds partagent les supports
- **Topologie** : manière dont la connexion entre les nœuds **apparaît** à la couche LdD

# Contrôle d'accès en fonction du partage du support

# Contrôle d'accès aux supports

## 3 types de contrôles :

- **Méthode statique** : chaque émetteur utilise durant une session complète une partie allouée des ressources (temps de transmission, bande de fréquence...)

Exemple: téléphone fixe, GSM

- **Méthode déterministe ou contrôlé** : un contrôleur est chargé d'attribuer dynamiquement des ressources. Ce système de contrôle peut être **centralisé** ou **distribué**

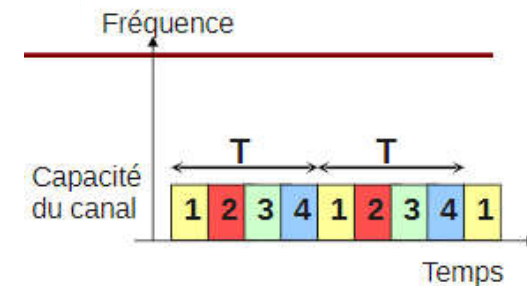
Exemple: Bluetooth, Token Ring, GPRS

- **Méthode aléatoire** : tous les émetteurs tentent d'accéder simultanément au support. Cela peut provoquer des collisions qu'il faudra gérer.

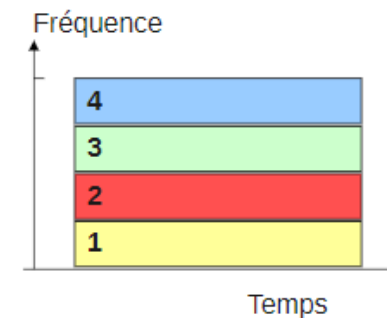
Exemple: Ethernet, WiFi

# Accès statique

- **TDMA** (Time Division Multiple Access)  
Attribution d'une portion de temps à chaque émetteur



- **FDMA** (Frequency Division Multiple Access)  
Chaque émetteur se voit attribution une bande de fréquences qui lui est propre



- **CDMA** (Code Division Multiple Access)  
Étalement du spectre en attribuant un code à chaque communication.

# Accès statique

**Avantages**

**Inconvénients**

# Accès statique

## Avantages

- Facile à mettre en place

- Débit prévisible

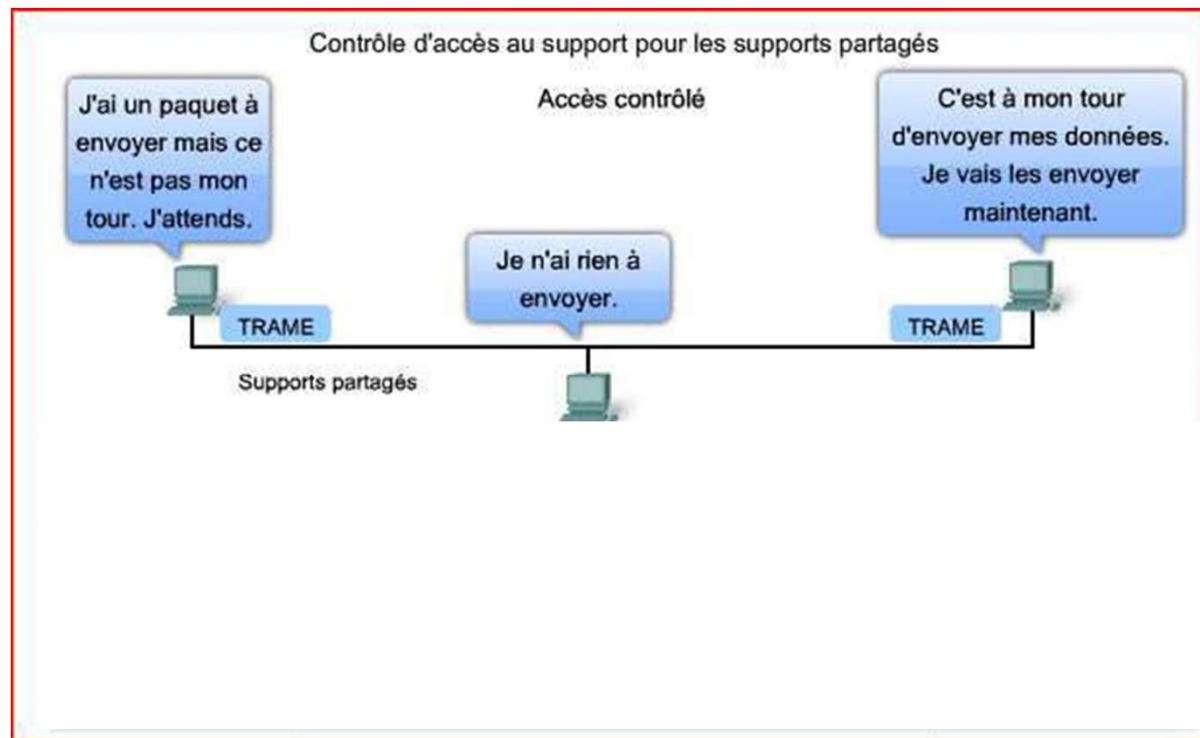
## Inconvénients

- Mal adapté à l'arrivée ou au départ de nouveaux émetteurs.

- Sous-optimisation si l'ensemble des émetteurs n'ont pas un débit uniforme.

# Accès contrôlés

Chaque nœud dispose de son tour pour utiliser le support





# Accès contrôlés

Un seul périphérique à la fois transmet des données.

Chacun attend son tour pour émettre

Pas de collision

Exemple : FDDI, Token Ring

# Accès contrôlés

Si un périphérique n'a pas besoin d'accéder au support, on propose l'utilisation du support au périphérique suivant.

Lorsqu'un périphérique place une trame sur le support, aucun autre périphérique ne peut émettre tant que la trame n'a pas été traitée par sa destination.

**Exemple de mise en œuvre** : passage de jeton -> celui qui a le jeton peut émettre.

# Accès contrôlés

**Avantages :**

**Inconvénients :**

# Accès contrôlés

## Avantages :

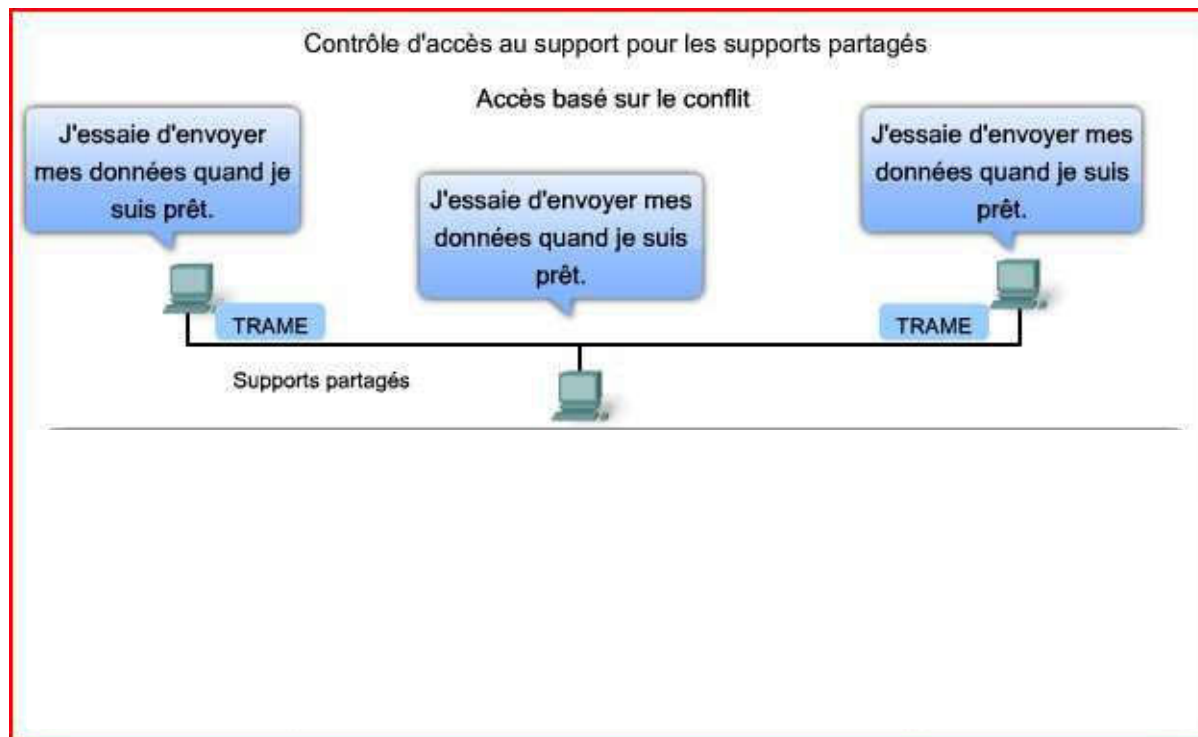
- bien organisé
- débit prévisible

## Inconvénients :

- requiert un « chef d'orchestre »
- inefficacité possible (temps d'attente de son tour)

# Accès aléatoire (basés sur le conflit)

Tous les nœuds sont en concurrence pour utiliser le support.



# Accès aléatoire (basés sur le conflit)

Tous les périphériques peuvent transmettre des données à tout moment.

Des collisions se produisent.

Protocoles permettant de résoudre les conflits :

CSMA/CD (ethernet)

CSMA/CA (sans fil 802.11)

**Exemples : Ethernet, sans fil**

# Accès aléatoire (basés sur le conflit)

Un périphérique peut essayer d'accéder au support dès qu'il doit émettre.

**CSMA** : *Carrier Sense Multiple Access* (écoute de support à accès multiple) : permet de détecter si le support véhicule déjà un signal (écoute de porteuse).

Si le support est déjà utilisé (CD -> collision detection), attend un laps de temps avant de vérifier si on peut émettre.

## Cas du WiFi (CSMA/CA)

La détection de collision (signal déjà existant) n'est pas toujours possible sur le Wifi : les deux émetteurs pouvant être hors de portée l'un de l'autre.

Comment faire dans ce cas ?

Le protocole CA (collision avoidance) basé sur un mécanisme de demande d'autorisation d'émettre, et d'avertissement vers les autres émetteurs.

On peut inclure dans ces messages (demande et avertissement) des informations telles que le volume de données à envoyer ou la vitesse de transmission.



# Accès aléatoire (basés sur le conflit)

**Avantages :**

**Inconvénients :**

# Accès aléatoire (basés sur le conflit)

## Avantages :

- pas de surcharge due au contrôle
- pas de mécanisme « chef d'orchestre »
- pas d'attente obligée si je suis le seul à émettre

## Inconvénients :

- CSMA peut échouer -> collisions de données
- la possibilité de collisions augmente si le nombre de nœuds augmente.
- Difficile de prévoir quand un émetteur pourra émettre.

# Méthodes de résolution de conflits

## **CSMA / CD** (Collision Detection) :

- écoute avant d'émettre (CSMA)
- si détection d'un autre signal -> tous les périphériques arrêtent d'émettre
- Ethernet

## **CSMA / CA** (Collision Avoidance) :

- écoute avant d'émettre (CSMA)
- si libre, envoie une notification, puis émet
- Réseaux sans fil 802.11

# Cas des supports non partagés

Peu ou pas de contrôle

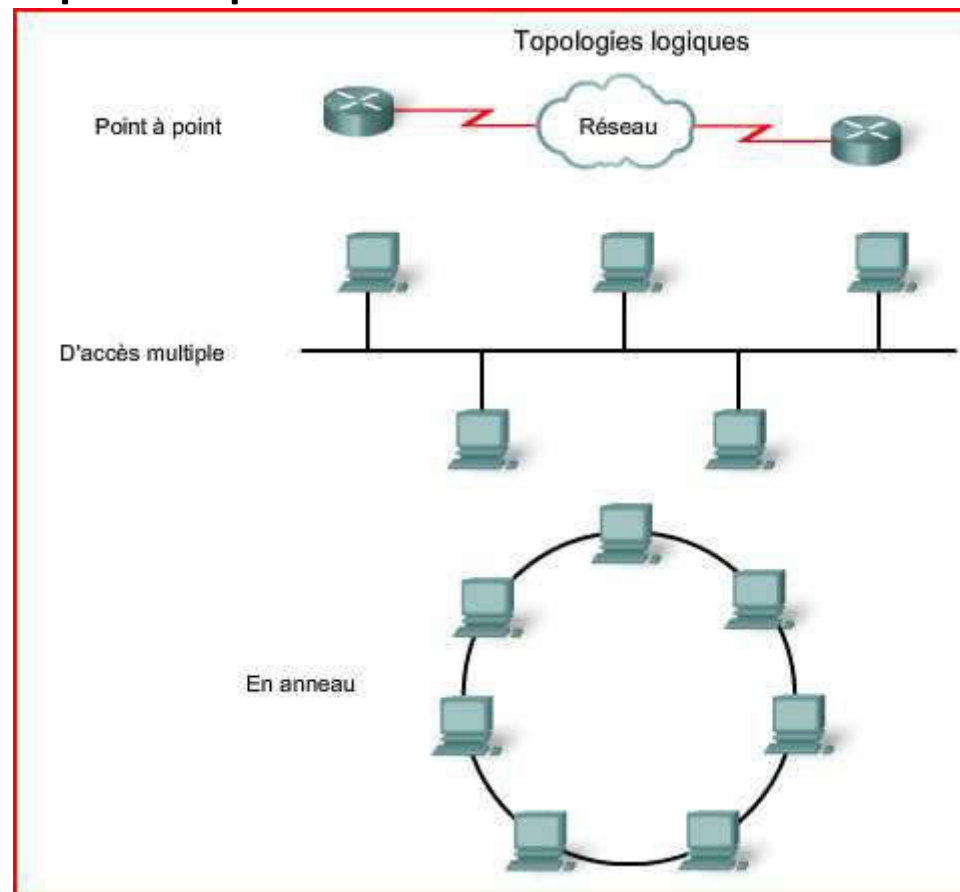
Connexion point à point, il faut déterminer :

- Half-duplex : on attend de recevoir une trame avant d'émettre
- Full-duplex : on transmet quand on veut.

# Contrôle d'accès en fonction de la topologie logique

# Topologies logiques

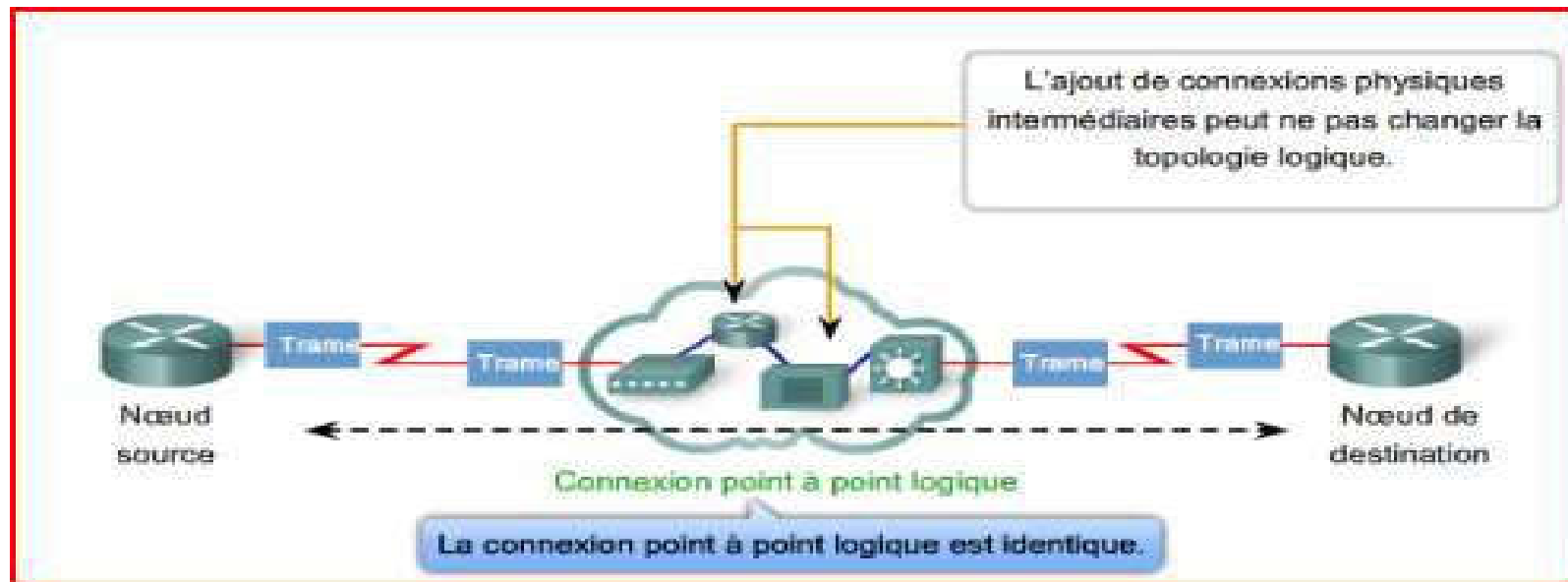
## 3 topologies principales



# Topologie point à point

Un nœud émet la trame, l'autre la reçoit

Pas ou peu de conflit.



# Topologie d'accès multiples

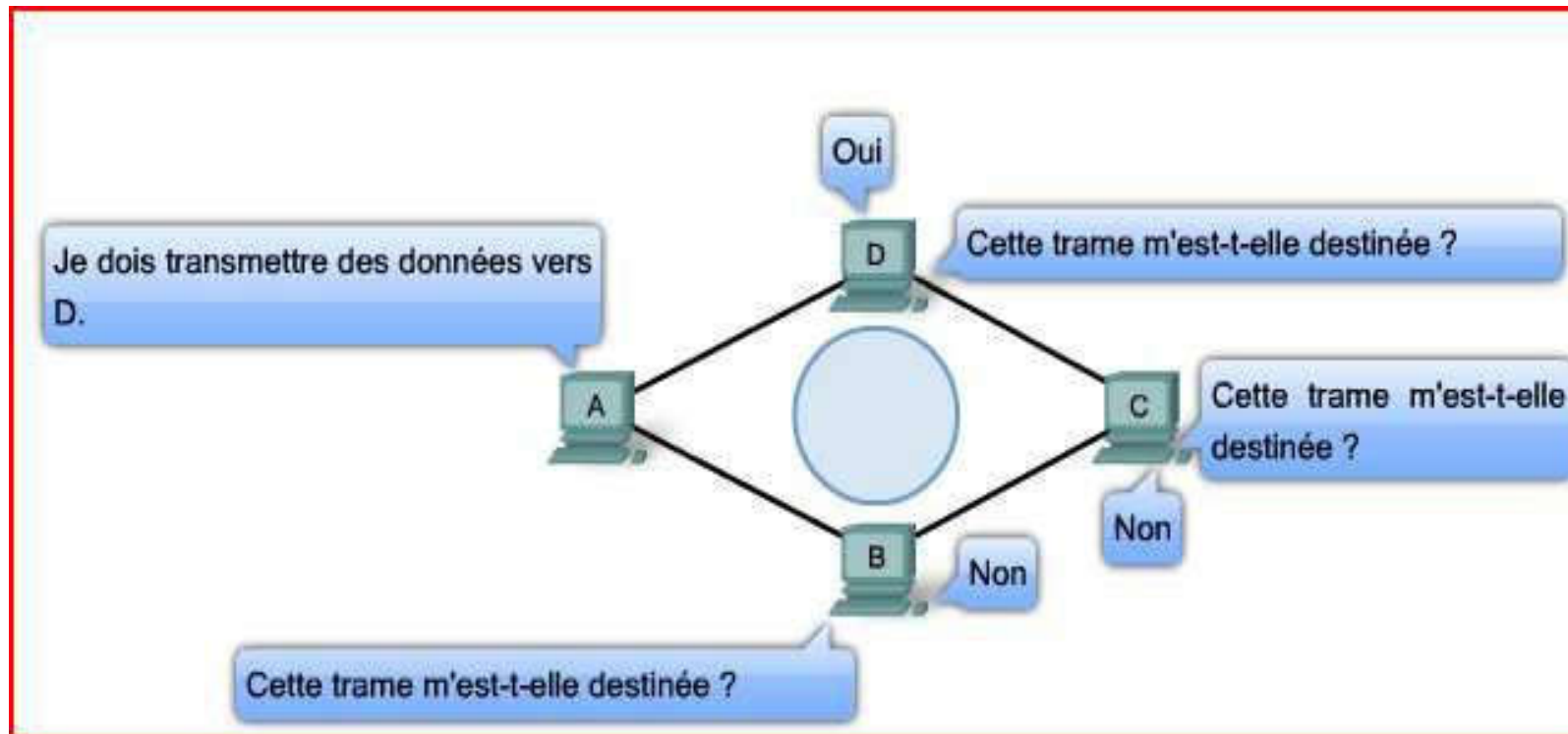
- Support **partagé** par plusieurs nœuds
- Chaque nœud voit toutes les trames sur le support
- Seul le nœud destination traite la trame qui lui est adressée
- Contrôle d'accès
  - CSMA,
  - passage de jeton



# Topologie en anneau

- Chaque nœud reçoit une trame tour à tour et la retransmet s'il n'en est pas le destinataire
- Chaque nœud situé entre le nœud source et le nœud destination examine la trame pour vérifier qu'il n'est pas destinataire.
- Plusieurs méthodes de contrôle d'accès possibles dont :
  - passage de jeton : un nœud ne peut émettre que s'il dispose du jeton. Une seule trame à la fois.

# Topologie en anneau



## A partir d'ici que sait-on faire ?

- Obtenir l'accès à un support pour émettre (gestion du flux d'émission)
- Emettre une trame en passant par la couche physique transformant ma trame (séquence de bits) en une suite de signaux.

# La couche LLC

# Fonctions de la couche LLC

- Détection (+ correction) des erreurs de transmission de type **omission** (la séquence de bits n'est pas reçue).
- Contrôle de flux (pour le récepteur).
- Reconnaissance des débuts et fins de trames
- Multiplexage des protocoles du niveau supérieur.

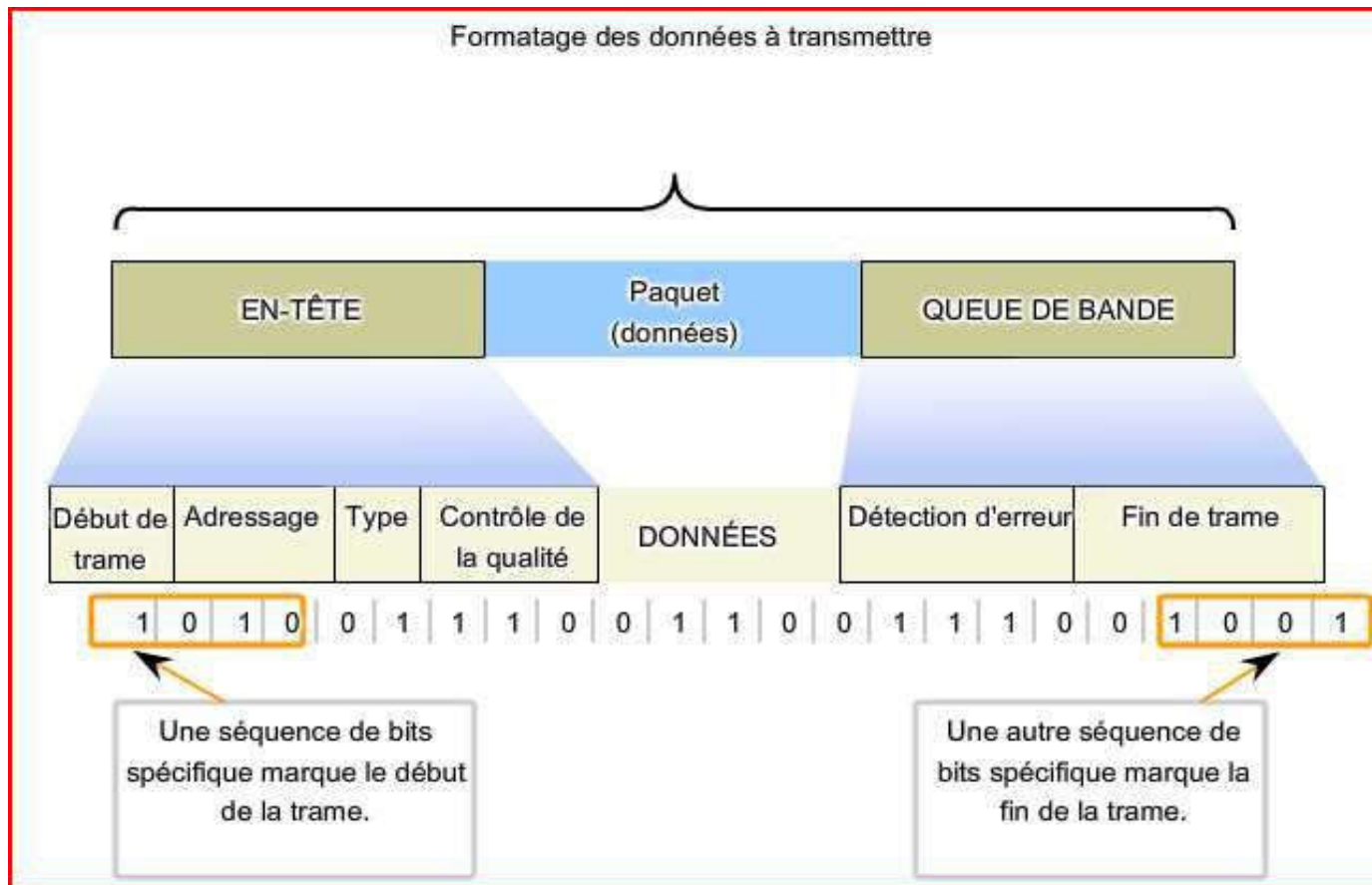
# Formatage de trame

Types de champs « standards » :

- Délimiteurs de trames : début et fin
- Nom ou adressage
- Type : unité de données de protocole contenu dans la trame
- Qualité : champs de contrôle
- Données : **paquet** de la couche réseau

**Dépend du protocole utilisé**

# Formatage de trame



# Mise en trame

La trame comprend trois parties :

- en-tête
- données (provenant de la couche 3)
- queue de bande

La structure et les champs contenus dans l'en-tête et la queue de bande dépendent du protocole.



# Mise en trame

## Délimitation de trame :

Longueur fixe ou variable ?

--> bourrage éventuel (padding)

Délimitation explicite :

- Comptage de caractères
- Délimiteurs de début et fin (transparence)

# Mise en trame

Aucune structure de trame ne peut répondre aux besoins de TOUT le transport sur TOUS les types de supports

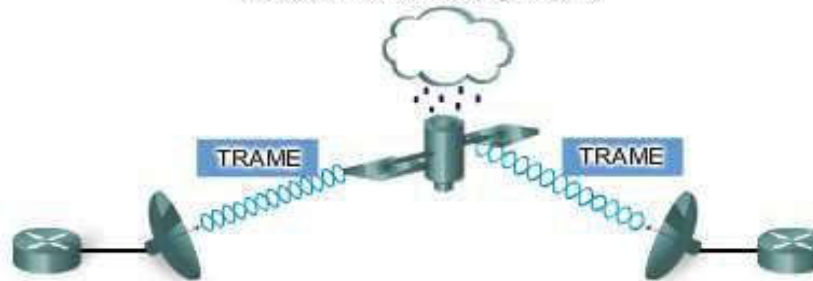
→ la quantité d'informations de contrôle requises dans la trame varie selon les exigences du contrôle d'accès au support, de la topologie logique et du type de segment en général.

# Mise en trame

## Protocoles de couche liaison de données : trame

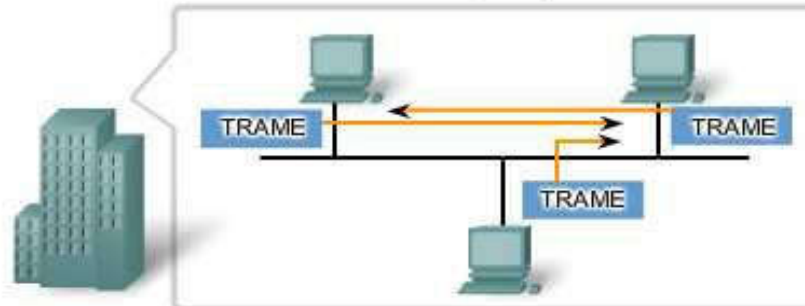
Dans un environnement fragile, plus de contrôles sont nécessaires pour assurer la livraison. Les champs d'en-tête et de queue de bande présentent une plus grande taille car plus d'informations de contrôle sont nécessaires.

Plus d'efforts nécessaires pour assurer la livraison = plus grande surcharge  
= débits de transmission plus lents



Dans un environnement protégé, la trame est assurée d'arriver à destination. Moins de contrôles sont nécessaires, d'où des champs et des trames de taille plus petite.

Moins d'efforts nécessaires pour assurer la livraison = surcharge moindre =  
débits de transmission plus rapides



# Rôle de l'entête

Contient les informations de contrôle (spécifiques au protocole défini pour la topologie et les supports utilisés)

# Rôle de l'entête

## Exemples de champs d'en-tête

- Délimiteur de début de trame
- Adresse source et de destination
- Priorité/qualité du service : indique un type particulier de service de communication pour le traitement.
- Contrôle de connexion logique : permet d'établir une connexion logique entre des nœuds.
- Contrôle de flux : permet de lancer et d'arrêter le trafic sur les supports.

## Adressage dans la couche 2

Adresses **physiques** utilisées dans un contexte de **localité**.

Pas de notion de hiérarchies de réseaux (pas de sous-réseaux).

Exigences d'adressage liées à la topologie logique (*eg.* adressage inutile en point à point)

# Rôle de la queue de bande

Délimite la fin de la trame.

Permet de vérifier que la trame est arrivée sans erreur : **détection d'erreur** (erreur de type modification).

Utilisation du champ séquence du contrôle de trame.

# Délimiteur de fin de trame

## Transparence :

Tout caractère (suite de bits) indiquant la fin d'une trame ne doit pas apparaître dans les données encapsulées.

Si c'est le cas, le caractère est modifié à l'émission puis rétabli à la réception.



# Détection d'erreur

## Exemple :

- La couche 2 de l'émetteur calcule un « résumé » logique du contenu de la trame (ex CRC contrôle par redondance cyclique) et ajoute cette séquence à la fin de la trame.
- La couche 2 du destinataire calcule le CRC de la trame reçue.
- Si les deux CRC diffèrent la trame est ignorée car erronée.

Certains protocoles proposent en plus la **correction** de trame

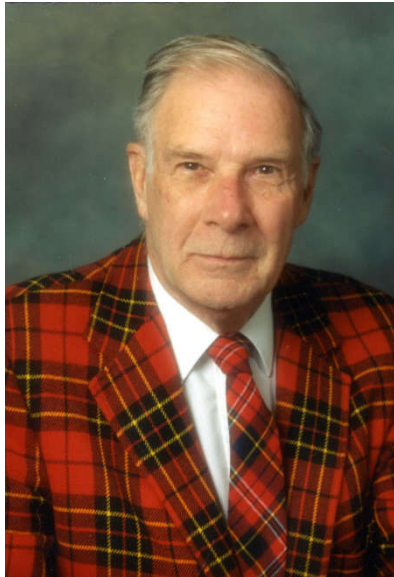
# Correction d'erreur

**Principe** : redondance d'information supplémentaire permettant de détecter et corriger les erreurs sans retransmission

## Exemples de code détecteurs et correcteurs

- Code de Hamming
- Code linéaire
- Code polynomiaux
- Turbocodes

# L'homme du jour



**Richard Wesley Hamming**, né le 11 février 1915 à Chicago et mort le 7 janvier 1998 à Monterey en Californie. Mathématicien célèbre ayant travaillé sur la théorie de l'information et la formalisation des codes correcteurs.

On lui doit notamment les codes de Hamming, et la distance de Hamming.

Il reçut le Prix Turing en 1968.

# Codes correcteurs vs codes détecteurs

## Détection :

- Moins de bits de contrôle
- Retransmission complète du message en cas d'erreurs.

## Correction

- Plus de bits de contrôle
- Pas de retransmission du message en cas d'erreurs

# Gestion des pertes de trames

Comment savoir que la trame est perdue ?

## Gestion des pertes / Protocole du bit alterné

Communication unidirectionnelle

Envoyer message M et attendre ack (avec tempo)

Si on reçoit ack, ok on passe au message suivant  
sinon réémettre M

## Gestion des pertes / Protocole du bit alterné

Oui mais si c'est ACK qui s'est perdu, on a réémis M et donc duplication possible

-> Utilisation de séquence (de quelle taille)?

En fait, ce problème se pose seulement entre deux messages consécutifs. Il est donc suffisant d'avoir une numérotation à deux valeurs 0 et 1 et un ACK 0 et un ACK 1...

# Matériel concerné par la couche

**Commutateur (switch)** : équipement d'un réseau reliant plusieurs segments afin de créer des circuits virtuels. Il ressemble au hub (concentrateur) de la couche physique mais ne retransmet pas la trame sur tous les ports mais seulement sur celui permettant d'adresser la destination.

utilisation d'une table d'association (CAM) : entrées/ad. Mac

**Pont** : équipement réseau de type « passerelle » permettant de relier entre eux deux segments de réseau distincts séparés physiquement ou s'appuyant sur des technologies différentes. Les plan d'adressages des deux segments doivent être identiques.



# Un switch (commutateur)



# Conclusion

La couche de liaison prépare les données de la couche réseau pour les placer sur les supports physiques et offrir un service de **connexion locale**.

Grand nombre de types de support -> nombreux protocoles de couche 2 pour contrôler l'accès aux données sur ces supports.

Topologie logique et support physique déterminent la méthode d'accès au support.

Trame peut devenir complexe : délimitation, qualité, erreurs....

# Dernière chose...

**Rappelez-vous qu'aucun système physique n'est parfait**

Ainsi même si on considère un système avec un signal fiable à 99,9999999%, alors à la vitesse d'émission de 1Gb/s, il se produira....

....une erreur par seconde !