

Réseaux et Systèmes (MIN 15112)

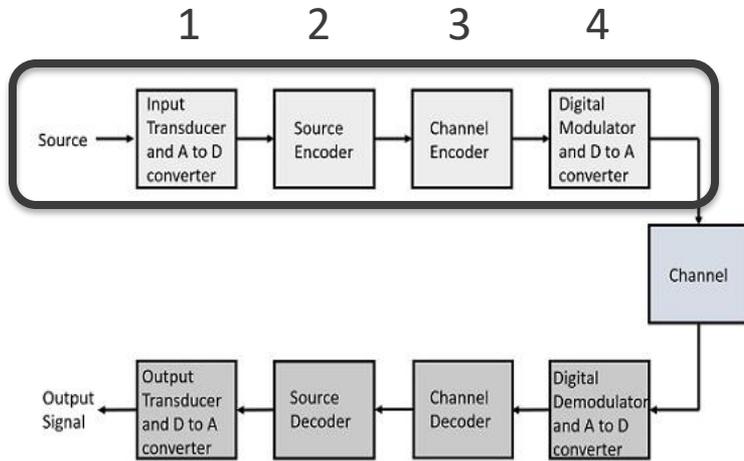
2025 - 2026

Zhiyi Zhang

zhiyi.zhang@uvsq.fr

<https://www.zhiyizhang.com>

Système de communication



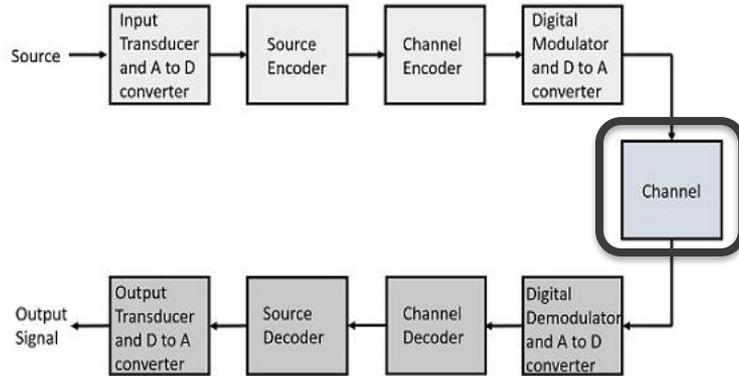
Basic Elements of a Digital Communication System

Côté émetteur :

1. Convertir le signal analogique en signal numérique, et convertir ce signal en bits
2. Réduire la redondance de l'information pour diminuer le volume de données à transmettre (compression, MP3, JPEG)
3. Ajouter des infos supplémentaires pour permettre la détection et la correction d'erreurs introduite par le canal
4. Transformer le signal numérique en signal analogique modulé, adapté à la transmission sur le canal

Système de communication

Canal de communication :
Air, câble, fibre optique...

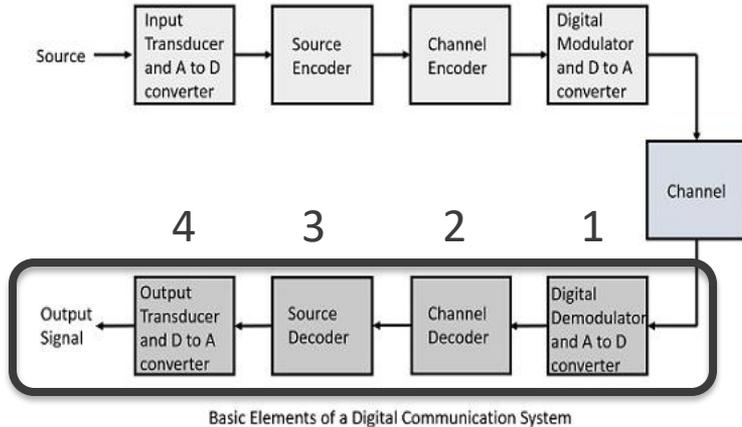


Basic Elements of a Digital Communication System

Il peut introduire :

- Bruit (les bits reçus peuvent être modifiés)
- Distorsion (la forme du signal change, les récepteurs ont mal à reconnaître les symboles)
- Atténuation (le signal reçu faible, difficile à distinguer du bruit)

Système de communication



Côté récepteur :

1. Récupérer le signal transmis, le démoduler et le convertir en une suite de bits
2. Corriger les erreurs éventuelles dues au bruit du canal, pour retrouver les bits d'origine
3. Décompresser / reconstruire les données initiales
4. Convertir le signal numérique en signal analogique pour l'utilisateur

Base des réseaux (Partie 2)

Base des réseaux (Partie 2)

- Famille IEEE 802
- Support physique
- Adresse physique (MAC)
- Trame Ethernet
- Métriques du réseau

Standards IEEE

Standards IEEE 802

Famille de standards relatives aux réseaux locaux et métropolitains

Standards IEEE 802

Famille de standards relatives aux réseaux locaux et métropolitains

Définit :

- Couche physique
- Couche liaison de données
 - LLC (Logical Link Control)
 - MAC (Medium Access Control)

Famille IEEE 802

- IEEE 802.3 : Ethernet & CSMA/CD (LAN) [active]
- IEEE 802.4 : Token Bus (LAN)
- IEEE 802.5 : Token Ring (LAN)
- IEEE 802.7 : Broadband LAN using coaxial cables
- IEEE 802.11 : Wireless LAN (WLAN) & Mesh [active]
- IEEE 802.15 : Wireless PAN / BAN (e.g. Bluetooth, ZigBee) [active]
- IEEE 802.16 : Broadband Wireless Access (e.g. WiMAX)

Couche physique

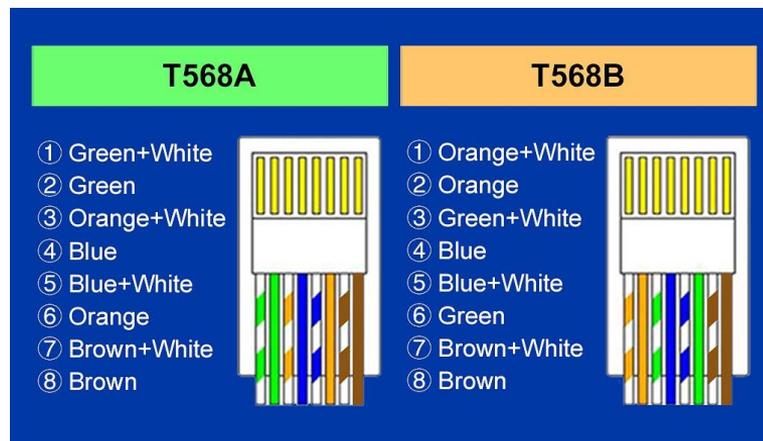
Pour connecter deux machines

- Câble cuivre (paires torsadées, RJ45)
- Fibre optique
- Sans fil

Bits <> signal

RJ45 (T568A & T568B)

Deux connecteurs RJ45 possibles (T568A et T568B)



Les deux extrémités du câble suivent le même standard : câble droit
 Une extrémité est câblée en T568A et l'autre en T568B : câble croisé

RJ45 (T568A & T568B)

Deux connecteurs RJ45 possibles (T568A et T568B)



Le plus utilisé

Les deux extrémités du câble suivent le même standard : câble droit
Une extrémité est câblée en T568A et l'autre en T568B : câble croisé

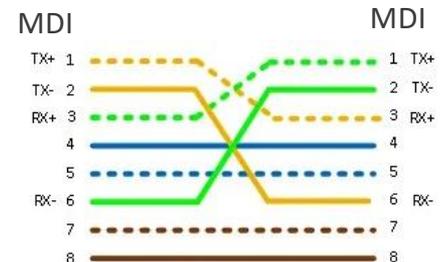
Câble droit ou croisé ?

MDI (Medium Dependent Interface)

- Interface « normale », utilisée sur les PC, serveurs, routeurs
- Pins 1-2 = TX, Pins 3-6 = RX

MDI-X (Medium Dependent Interface – Crossover)

- Interface « inversée », utilisée sur les hubs, switches
- Pins 1-2 = RX, Pins 3-6 = TX



Câble droit ou croisé ?

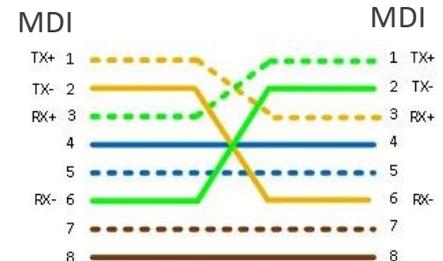
MDI (Medium Dependent Interface)

- Interface « normale », utilisée sur les PC, serveurs, routeurs
- Pins 1-2 = TX, Pins 3-6 = RX

MDI-X (Medium Dependent Interface – Crossover)

- Interface « inversée », utilisée sur les hubs, switches
- Pins 1-2 = RX, Pins 3-6 = TX

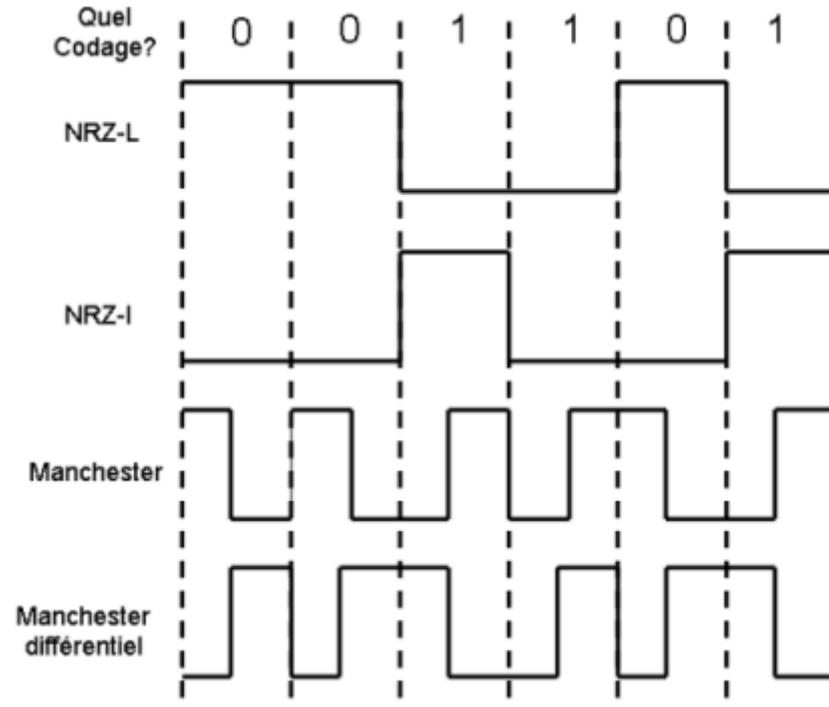
Bonne nouvelle : Les cartes réseaux modernes (Gigabit Ethernet) supportent auto-MDI/MDIX



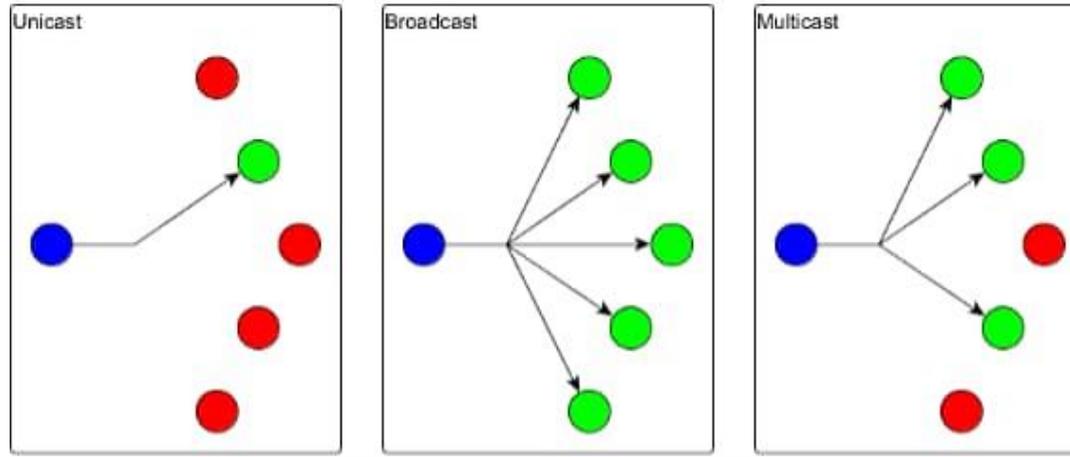
Comment on synchronise des hôtes en couche physique ?

- Implicite
 - Le récepteur connaît quand et où écouter
 - Solution la plus rapide
 - Mais : nécessite du trafic de contrôle
- Explicite
 - Une séquence connue pour marquer le début de la transmission
 - Mais : la séquence ne peut pas être dans les données; marquer la fin

Codage

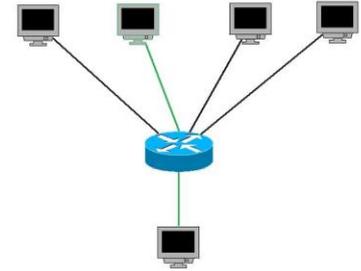


Types de communications



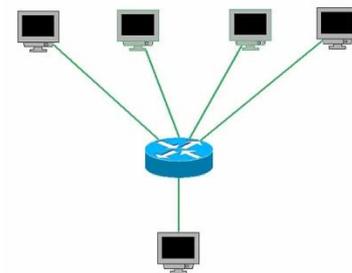
Unicast

- D'une seule source vers **une seule destination** à travers l'infrastructure du réseau
- Les nœuds source et destination sont identifiés par un identifiant unique



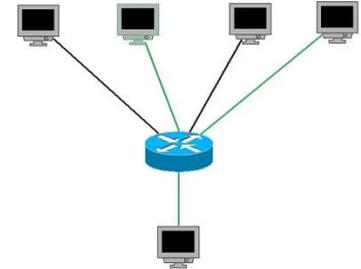
Broadcast

- D'une seule source vers **toutes les destinations possibles** dans le réseau
- Une seule adresse est utilisée pour identifier tous les autres équipements
- En pratique, la portée d'un broadcast est limitée à un domaine de diffusion (broadcast domain)



Multicast

- D'une seule source vers **un groupe de destinations** simultanément
- Une seule adresse est utilisée pour identifier le groupe de destinations

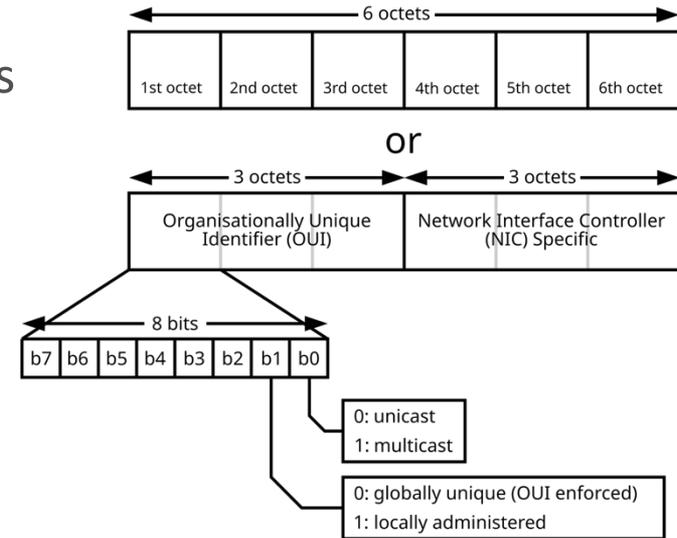


Adresse MAC

Longueur : 48 bits (6 octets)

6 groupes de deux chiffres hexa en majuscules ou en minuscules, séparés par « : » ou « - ».

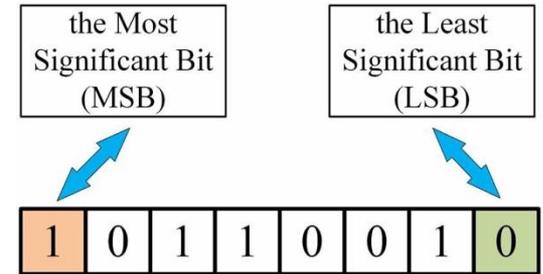
- OUI (24 bits) : attribué par IEEE au constructeur
- NIC (24 bits) : identifiant attribué par le constructeur à chaque carte réseau



LSB & MSB

LSB : Least Significant Bit

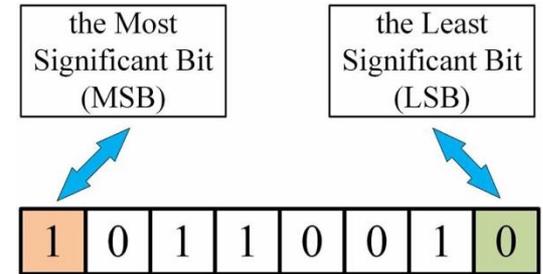
MSB : Most Significant Bit



LSB & MSB

LSB : Least Significant Bit

MSB : Most Significant Bit

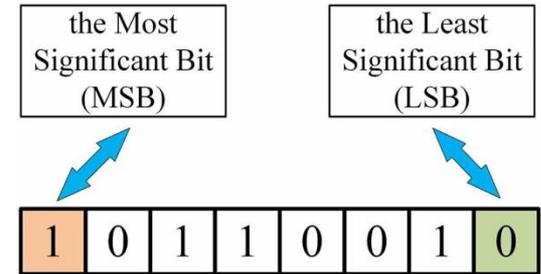


Pourquoi les bits spéciaux d'une adresse MAC sont placés dans les LSB du premier octet ?

LSB & MSB

LSB : Least Significant Bit

MSB : Most Significant Bit



Pourquoi les bits spéciaux d'une adresse MAC sont placés dans les LSB du premier octet ?

Dans Ethernet, les bits d'un octet sont envoyés en commençant par le LSB.

Trame Ethernet



Trame Ethernet



Préambule (8 octets) : **l'annonce de la trame** et la **synchronisation des horloges** de transmission

7 octets dont la valeur est 10101010 (0xAA)

1 octet dont la valeur est 10101011 (0xAB) (**Starting Frame Delimiter**)

Trame Ethernet



Adresse MAC du destinataire (6 octets)

Adresse MAC de l'émetteur (6 octets)

Trame Ethernet



Type (2 octets) : code pour indiquer le protocole encapsulé

0x0800 (IPv4); 0x0806 (ARP); 0x86DD (IPv6); 0x8100 (VLAN-tagged 802.1Q)

Trame Ethernet



Données (46 – 1500 octets) : données de la couche réseau

Taille minimale : 46 octets

Taille maximum : 1500 octets

Si la taille < 46 octets, ajouter le « padding »

Trame Ethernet



CRC (4 octets) : Cyclic Redundancy Code pour vérifier si le trame a été correctement transmise

Oui, les données peuvent donc être délivrées
Non, drop

IFG (InterFrame Gap)

IFG (InterFrame Gap) : intervalle de silence minimale entre deux trames
Ethernet

96 bits (12 octets)

- Délimiter clairement les trames
- Éviter qu'une station monopolise le canal partagé

Les métriques essentielles

- Bande passante (débit théorique)
- Throughput (débit effectif)
- Délai
- Gigue
- Taux de perte de paquets
- Fiabilité
- Utilisation du lien

Débit

Débit : Le nombre de bits transmis par unité de temps

Unité : bps (bit/s), Kbps, Mbps, Gbps

Débit théorique : débit maximale possible du support physique

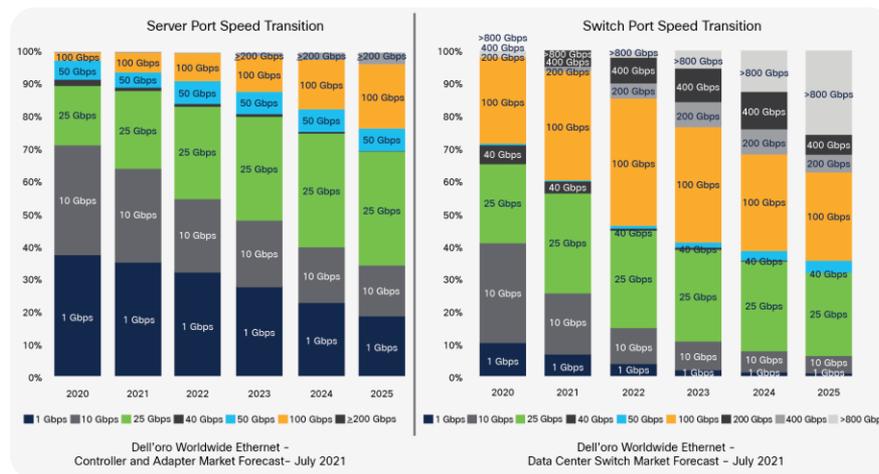
Débit effectif : débit réellement observé par l'utilisateur (< débit théorique)

Débit théorique

Le débit théorique d'un lien dépend du débit maximal supporté par le port et le support de transmission.

Catégorie	Débit maximum (théorique)	Portée efficace
CAT 5e	1 Gb/s	jusqu'à 100 m
CAT 6	10 Gb/s (≤ 55 m) 1 Gb/s (≤ 100 m)	55 ~ 100 m
CAT 6a	10 Gb/s	jusqu'à 100 m
CAT 7	40 Gb/s (≤ 50 m) 100 Gb/s (≤ 15 m)	15 ~ 50 m
CAT 8	40 Gb/s	jusqu'à 30 m

Catégorie et débit théorique du câble RJ45



Quel est le débit ?

Comment fixer le débit du lien ?

-> Autonégociation

Lorsque deux équipements sont connectés :

- Ils échangent des signaux (Fast Link Pulse) pour indiquer leurs capacités (débit et half-/full-duplex)
- Les deux extrémités du lien doivent avoir le même débit et le mode duplex négocié

Débit hôte A	Débit lien	Débit hôte B	Débit négocié
1 Gbps	1 Gbps	100 Mbps	?
10 Gbps	1 Gbps	1 Gbps	?

Quel est le débit ?

Comment fixer le débit du lien ?

-> Autonégociation

Lorsque deux équipements sont connectés :

- Ils échangent des signaux (Fast Link Pulse) pour indiquer leurs capacités (débit et half-/full-duplex)
- Les deux extrémités du lien doivent avoir le même débit et le mode duplex négocié

Débit hôte A	Débit lien	Débit hôte B	Débit négocié
1 Gbps	1 Gbps	100 Mbps	100 Mbps
10 Gbps	1 Gbps	1 Gbps	1 Gbps

Throughput

Throughput : la quantité effective de données transmises d'une source à une destination par unité de temps

Contrairement au débit théorique, le throughput tient compte :

- des protocoles (en-têtes, contrôle, retransmissions)
- de la congestion
- du partage de ressources entre plusieurs utilisateurs

Délai

Délai : le temps nécessaire pour qu'un paquet parte de la source et atteigne la destination

Unité : s, ms, μ s, ns

4 types :

- Délai de transmission : émettre les bits sur le lien
- Délai de propagation : propager le signal sur le support
- Temps de traitement : contrôler d'erreurs, déterminer la sortie
- Temps d'attente : queueing

Délai de transmission

L : Longueur de trame (bits)

R : Débit du lien (bps)

Combien de temps l'interface met-elle pour envoyer les bits sur le lien ?

Délai de transmission = L/R



Délai de propagation

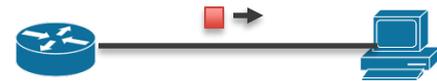
D : Longueur du support physique (m)

S : Vitesse de propagation (m/s)

Combien de temps un bit met-il pour parcourir la distance du lien ?

Délai de propagation = D/S

S : $\sim 2 \times 10^8$ m/s



Temps de traitement

C'est le temps que met un nœud intermédiaire (routeur, switch...) pour analyser et traiter un paquet avant de le transmettre

Opérations typiques :

- Vérification de l'en-tête (adresses)
- Contrôle d'erreurs
- Déterminer le port de sortie
- Appliquer les règles (QoS, filtrage...)

Généralement faible, mais peut augmenter si le nœud est surchargé, ou des traitements complexes à faire

Temps d'attente

Le temps d'attente (queueing delay) correspond au temps passé dans la file d'attente avant le port de sortie.

Si plusieurs paquets veulent utiliser le même port de sortie -> file d'attente

Le temps d'attente dépend de :

- Nombre de paquets déjà dans la queue
- Débit du lien
- Charge du réseau

Temps d'attente

Le temps d'attente (queueing delay) correspond au temps passé dans la file d'attente avant le port de sortie.

Si plusieurs paquets veulent utiliser le même port de sortie -> file d'attente

Le temps d'attente dépend de :

- Nombre de paquets déjà dans la file
- Débit du lien
- Charge du réseau

Que se passe t-il si la longueur de la file varie ?
Ou la file est pleine ?

Gigue : la variation du délai

Pourquoi le délai change ?

- Congestion
- Partage de ressources
- Chemin dynamique

What is IP Packet Delay Variation (IPDV), also called "jitter"?

IPDV measures the variation in delay of uni-directional, consecutive packets (packet 1 and 2, 2 and 3 etc.) which flow between two hosts over an IP path. Low IPDV is especially important for applications requiring timely delivery of packets, e.g. multimedia applications, VoIP, video etc. The maximum delay variation is useful for determining the optimal buffer sizes for such applications.

Important pour les applications temps réel (visioconférences, VoIP, jeux en ligne)

RTT

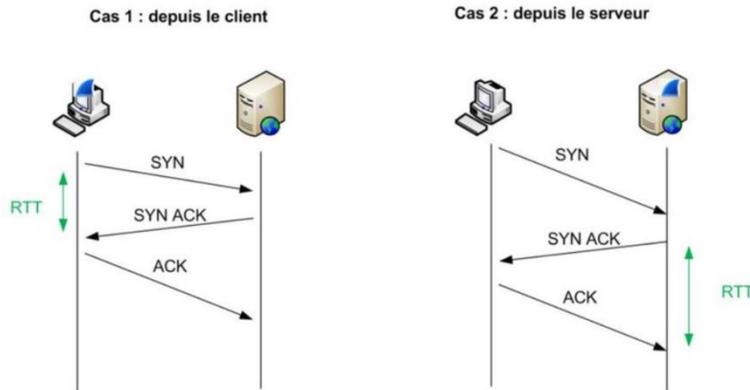
RTT (Round Trip Time) : temps aller-retour d'un paquet entre source et destination

La communication, dans beaucoup de cas, c'est échanges dans les deux sens

RTT +

-> Latence +

-> Performance -, Expérience -



Taux de perte

Taux de perte de paquets : pourcentage de paquets transmis qui n'arrivent pas correctement à destinataire

$$\frac{\text{Nombre de paquets perdus}}{\text{Nombre total de paquets envoyés}} \times 100\%$$

Causes :

- Congestion du réseau : files d'attente pleines -> paquets rejetés
- Erreurs de transmission : bruit, interférences
- Défaillance d'équipements : équipement tombe en panne

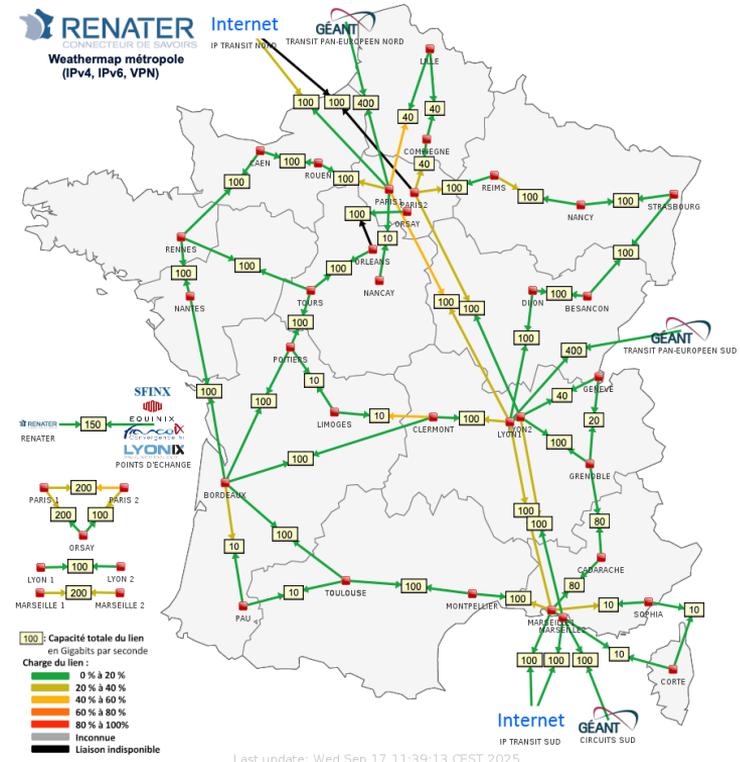
Utilisation du lien

L'utilisation du lien : fraction de la capacité du lien réellement utilisée

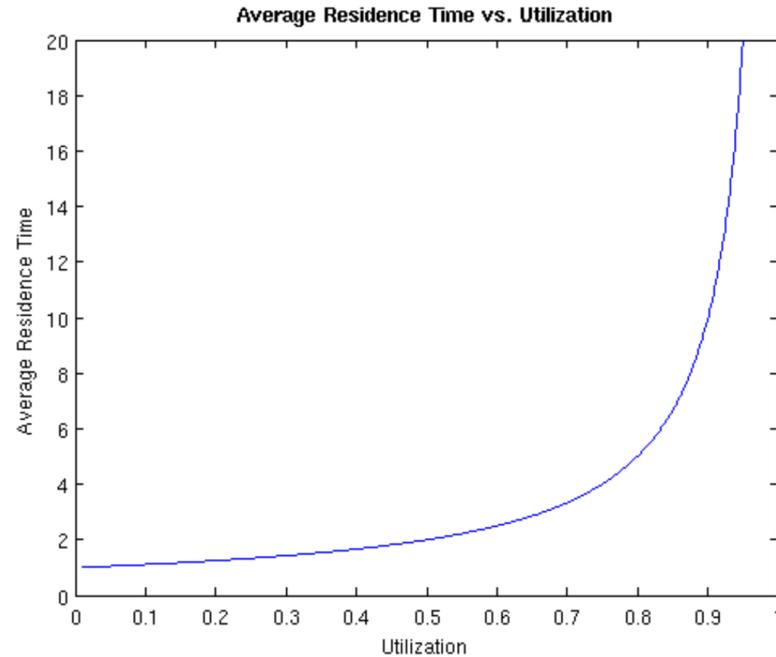
$$\frac{\text{Débit réel}}{\text{Capacité du lien}} \times 100\%$$

Si l'utilisation est faible -> bonne performance, mais pas efficace

Si l'utilisation est élevée -> congestion, délais, pertes...



Utilisation & Délai



Fiabilité : la capacité à assurer un service continu

Disponibilité : probabilité que le réseau soit opérationnel à un instant donné (exprimée en pourcentage, le nombre de 9)

Mesure de la fiabilité : $\frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$

MTBF (Mean Time Between Failures)

MTTR (Mean Time To Repair)

Exemple : MTBF = 1000 h, MTTR = 1 h, disponibilité ?

Bon réseau ?

Taux de perte

Débit

Délai



Fiabilité

Gigue

Bon réseau ?

Taux de perte

Débit

Délai



Fiabilité



Gigue

Résumé (Cours 2)

- Support physique
- Adresse MAC
- Trame Ethernet
- Métriques du réseau