

Introduction au réseau de l'Internet

Ouvrage de référence: *Computer networking: A Top-Down approach featuring the Internet* Par Jim Kurose and Keith Ross

Internet

- Qu'est-ce qu'internet ?
- Qu'est-ce qu'un protocole ?
- Les bords du réseau
- Les cœurs du réseau
- Accès au réseau
- Couches de protocoles, modèles de services
- Modèles de réseaux

1. Internet, une vue d'ensemble

En 2016, sans doute 2 à 8 millions d'appareils connectés

- Hôtes ou systèmes terminaux
- Exécutent des applications réseau

Des liens de communication

- Cuivre, fibre optique, radio, satellite
- Taux de transfert = bande passante

Des routeurs

- Transmettent des paquets (morceaux d'information)

Tout routeur est une passerelle = Gateway

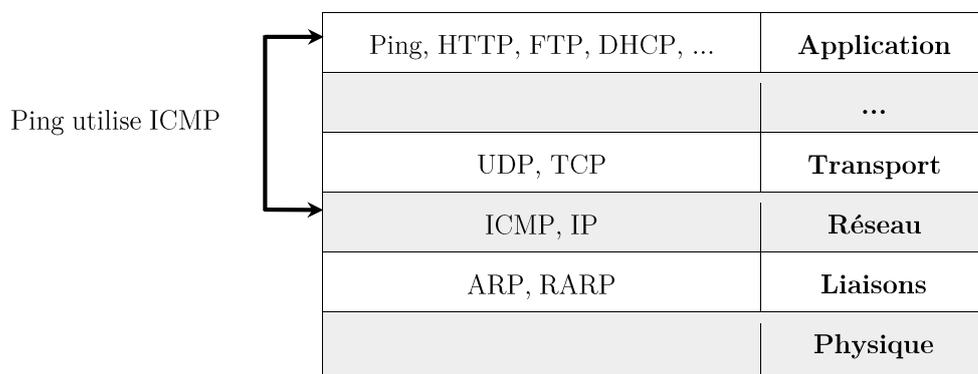
Il existe plusieurs protocoles qui contrôlent l'émission et la réception des messages. Par exemple : TCP, IP, HTTP, FTP, ICMP, DHCP

Il existe une IP unique par hôte connecté sur Internet du type :

192.168.1.0

Chaque nombre peut aller de 0 à 255 et constitue donc 256 valeurs différentes.

Au total, nous avons $(2^8)^4$ possibilités d'IP.



1.1. Les différentes classes de réseau

Ils se notent de A à E :

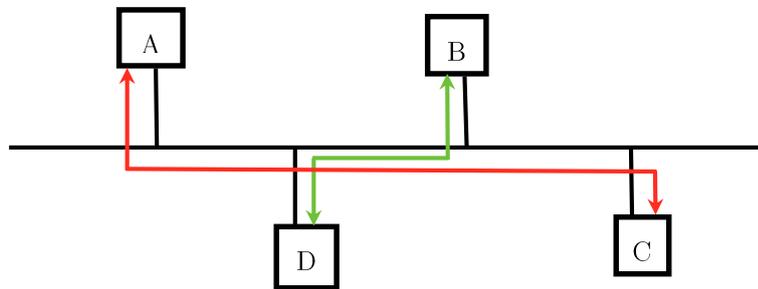
A
[0 => 127]

B, unicast
[]

C
[]

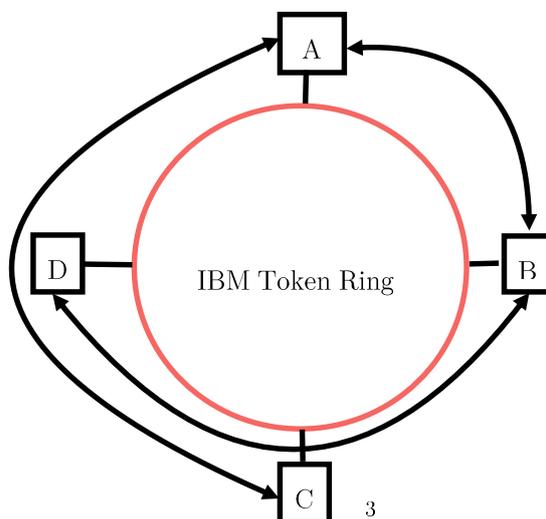
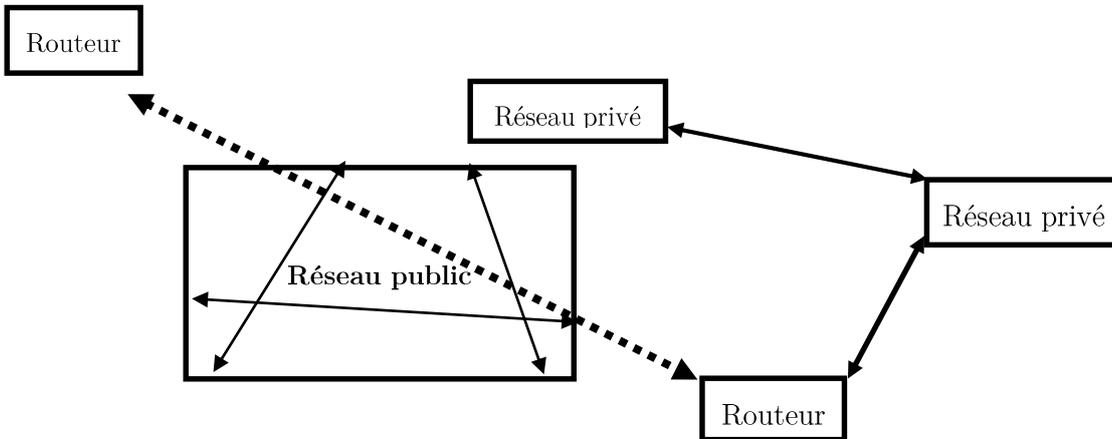
D, multicast
[]

E, expérimental
[]



Quelqu'un veut envoyer
un message,

Problème: collision



1.2. Internet, une vue orientée services

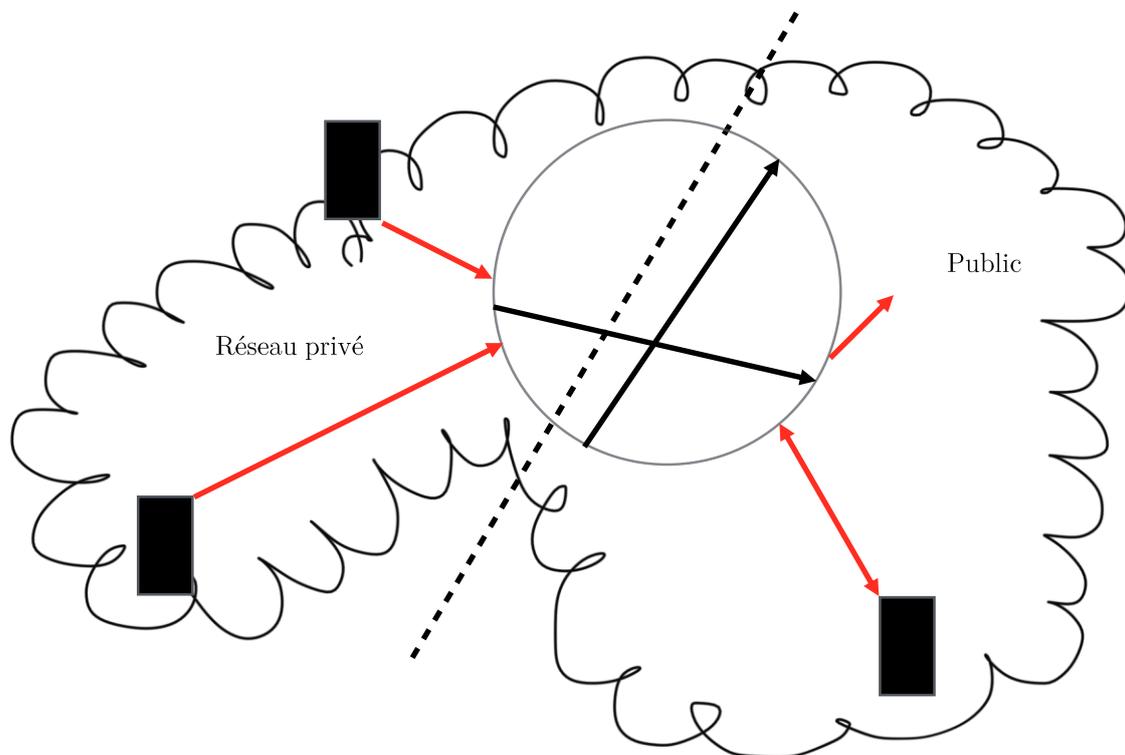
Infrastructures de communication

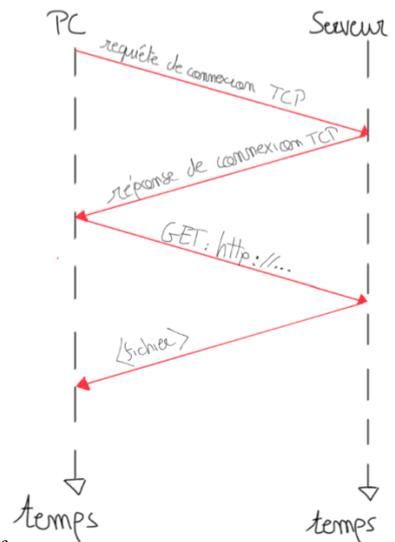
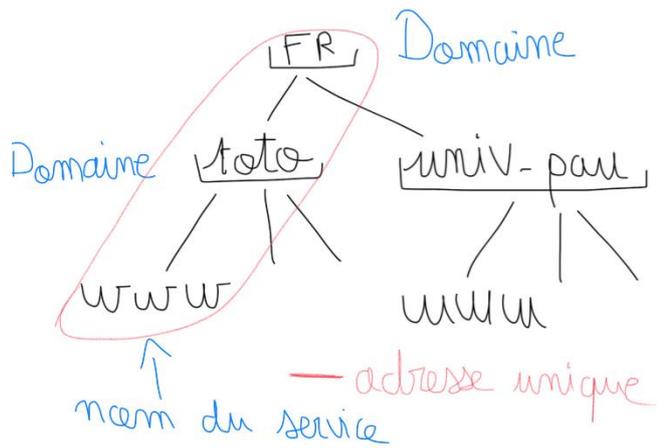
Différents services de communication sont offerts aux applications :

- Non connecté mais non fiable
- Connecté et fiable

2. Qu'est-ce qu'un protocole ?

| Protocoles humains | Protocoles réseaux |
|-----------------------|-----------------------|
| Quelle heure est-il ? | Plutôt entre machines |
| J'ai une question | |
| Présentations | |

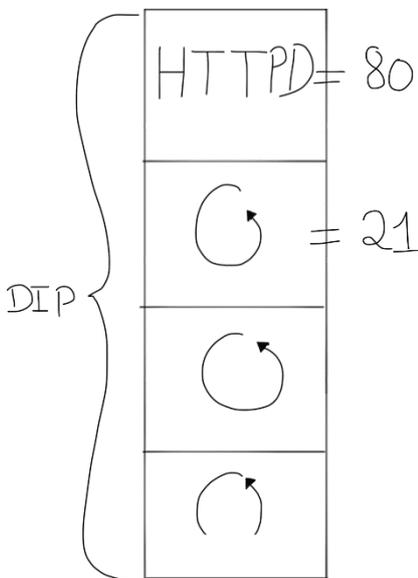




GET http://www.toto.fr/○ → si vide, direction vers index.html par défaut

Daemons = services qui fonctionnent en continu

httpd : daemon http



Un unique port par daemon

Par défaut : http://toto.fr:80/index.html

Un fichier texte html est sous la forme :

```

<HTML>
  <HEAD>
  </HEAD>
  <TITLE>
  </TITLE>
  <BODY>
    Texte
    Texte
  </BODY>
</HTML>

```

2.1. Les bords du réseau

- Systèmes terminaux (hôtes)
- Exécutent les « programmes applicatifs »
Ex : navigateur, email, chat, transfert de fichiers
- Modèle client-serveur :
 - Les hôtes clients émettent des requêtes et reçoivent des services des serveurs toujours actifs.
Ex : Navigateur, serveur web, client, service mail
- Modèle pair à pair :
 - Utilise peu (ou pas) de serveur dédiés
Ex : Gigatribe, BitTorrent, GUNet, Skype

2.1.1. Service orienté connexion

Objectif :

- Transfert de messages entre systèmes terminaux
- Poignée de main : établissement du dialogue
 - Le « Bonjour-Bonjour » du protocole humain
 - Fixe l'état des hôtes communicants
- TCP – Transmission Control Protocol : service orienté connexion d'internet
- Service TCP (RFC 793)
- Transfert de flux d'octets fiables et ordonnés
 - Si perte : accusés-réceptions et retransmissions
- Contrôle de flot
 - L'émetteur ne sature pas le récepteur
- Contrôle de congestion
 - Réseau congestionné : l'émetteur « ralentit son taux d'émission »
- Applications TCP :
 - HTTP (Web), FTP (Transfert de fichiers), Telnet (contrôle à distance), SMTP, DNS,...

2.1.2. Service non connecté

Objectif :

- Transfert de données entre systèmes terminaux
- Aucun échange

UDP – User Datagram Protocol (RFC 768)

- Non connecté
- Transfert non-viable
- Pas de contrôle de flot
- Pas de contrôle de congestion
- Applications UDP :
 - Flux multimédia, visio-conférence, DNS, VoIP

2.2. Le cœur du réseau

Question FONDAMENTALE : Comment sont transférés les messages sur le réseau ?

Deux types de méthodes de transfert :

- Commutation par circuit : un circuit par échange
- Commutation par paquet : messages envoyés en morceaux sur le réseau

2.2.1. Circuit :

- Ressources réservées de bout en bout pour un appel
- Pas de partage (ressources dédiées)
- Performances garanties
- Etablissement de l'appel nécessaire
- Ressources réseau (ex : bande passante) découpées en tranches :
 - Tranches allouées aux échanges
 - Ressource inactive si non utilisée par moment lors de l'échange actif (pas de partage)
- Deux manières de découper :
 - En fréquence : découpage en bandes (FDM)
 - En temps : intervalles cycliques (TDM)
- Multiplexage : envoi sur un même canal de plusieurs messages

Exercice :

Combien de temps faut-il pour envoyer un fichier de 640 000 bits de l'hôte A vers un hôte B sur un réseau à commutation de circuit ?

- Tous les liens ont une bande passante de 1,536 Mbps
- Chaque lien utilise TDM avec 24 slots/seconde
- Il faut 500 ms pour établir le circuit de bout en bout

$$\frac{\text{Bande-passante}}{\text{nbr-de-slots}} = \frac{1536000}{24} = 64000 = 64\text{kbps} \quad \text{temps} = \frac{640000}{64000} = 10\text{s} + \text{temps-du-circuit}$$

Temps : 10 + 0,5 s = 10,5 secondes

Avec fréquence : 24 canaux / fréquence :

Même temps.

2.2.2. Paquets

Division du flux de données (messages) en paquets

- Partage des ressources pour les paquets des utilisateurs A et B
- Totalité de la bande passante pour chaque paquet
- Utilisation des ressources uniquement quand nécessaire

Dispute des ressources

- Demandes cumulées > quantité de ressources disponibles
- Congestion : file d'attente des paquets pour utilisation d'un lien
- Stocker et acheminer

Pas de motifs fixes dans la séquence de paquets issus de A et de B

- Partage à la demande ← multiplexage statique

Commutation du paquet ou de circuit.

Plus d'utilisateurs avec la commutation de paquets.

- Lien à 1Mbps
- Utilisateur :
 - Emet 100 Kbps si actif
 - Actif 10% du temps
- Commutation de circuits :
- 10 utilisateurs concurrents

- Commutation de paquets. Avec 35 utilisateurs, la probabilité d'avoir plus de 10 actifs est inférieure à 0.004

$$P(A > 10) = 1 - \left(\sum_{i=0}^{10} 0,1^i \times 9^{(35-i)} \times c_{35}^i \right)$$

2.2.3. Réseaux à commutation de paquets : routage

Objectifs :

Transmettre des paquets de la source à la destination au travers des routeurs

Rôle du routage :

- Déterminer le(s) chemin(s) que vont prendre les paquets entre une source et une destination en essayant de trouver de bons chemins
- Routeur source : 1^{er} routeur accessible à la machine source
- Routeur destination : 1^{er} routeur accessible à la machine destination
- La problématique du routage se réduit à un chemin entre les routeurs sources et destinations
- La notion de bon chemin se traduit par la minimisation d'un coût
- Celui-ci dépend de la politique choisie : temps d'acheminement, ressources utilisées, ...

3. Couche application

3.1. Quelques applications

- Courrier électronique
- Web
- Messagerie instantanée
- Connexion à distance
- Calcul massivement parallèles
- Partage de fichiers pair à pair
- Jeux en réseau
- Vidéo diffusion
- Téléphonie sur le web
- Vidéo confère en temps réel

3.2. Architecture client-serveur

- Serveur :
- Hôte toujours actif
- Adresse IP permanente

Fermes de serveurs → passage à l'échelle

- Clients :
 - Communiquent avec le serveur
 - Connexion intermittente
 - Adresse IP dynamique
 - Ne communiquent pas entre eux

3.3. Vraie architecture pair à pair

- Serveur pas toujours actif
- Systèmes terminaux communiquent directement entre eux
- Pairs connectés de façon intermittente
- Changement d'adresse IP
- Ex : Gnutella

3.4. Hybrides entre client-serveur et pair à pair

3.4.1. Principe

- Un serveur central sert d'annuaire pour enregistrer/trouver les pairs
- Un pair recherche dans l'annuaire un ou plusieurs pairs correspondant à sa demande
- Ensuite, le pair demandeur se met en relation directe avec ces pairs
- Gestion plus facile !

3.4.2. Napster

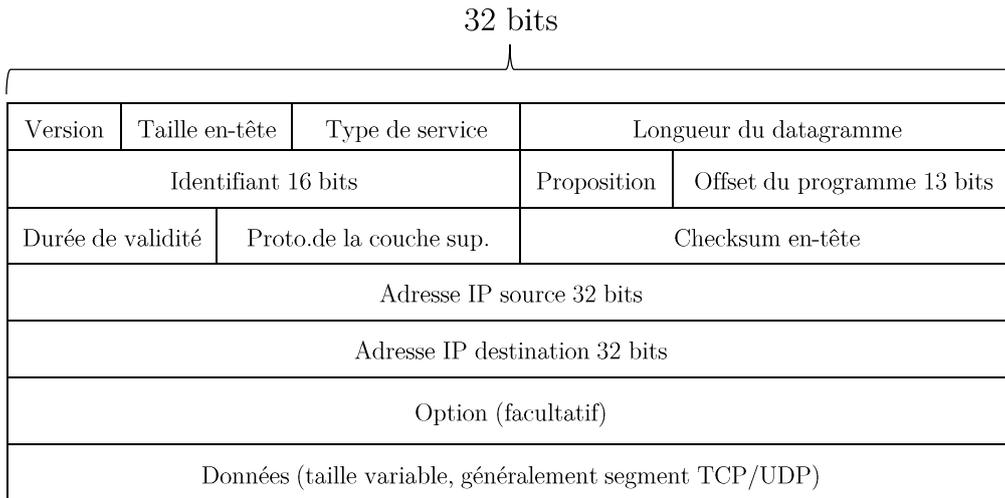
- Partage de fichiers pair à pair
- Recherche centralisée :
 - Enregistrement du contenu des pairs sur le serveur central
 - Requêtes sur le même serveur central pour trouver un fichier

3.4.3. Messagerie instantanée

- Deux utilisateurs qui chattent -> pair à pair
- Détection de présence centralisée :
 - Enregistrement de l'adresse IP sur le serveur central à la connexion
 - Serveur central contacte pour trouver les adresses IP des contacts

4. IP : Internet Protocol

4.1. Forme de datagramme IP

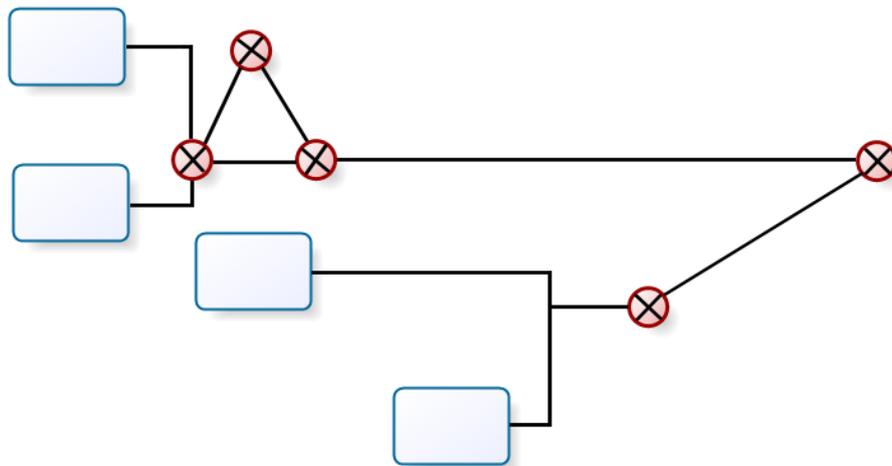


- * Version : numéro de version du protocole IP
 - * Taille en-tête :
 - * Type de service : type de données
 - *
 - * Durée de validité : nombre max de sauts restants (décrémenté à chaque routeur)
 - * Protocole de la couche supérieure : à qui livrer la charge utile
 - * Checksum : façon algorithmique de vérifier le checksum
 - * Etiquette temporelle
 - * Route prise
 - * Liste des routeurs à visiter
 - * ...
- } Options

Quel surcoût avec TCP ?

- * 20 octets de TCP
 - * 20 octets d'IP
- ⇒ 40 octets + surcoût de la couche application

4.2. Fragmentation et réassemblage IP



Les liens réseau ont une MTU (Maximal Transfert Unit)

- Plus grande trame autorisée au niveau des liaisons
- Différents types de liens

Les grands datagrammes IP sont fragmentés sur le réseau

- Un datagramme devient plusieurs datagrammes
- Ils sont réassemblés uniquement arrivés à destination
- Les bits de l'en-tête IP sont utiles pour identifier et relier les fragments reliés

4.3. Adresse IPV4 : Principes

Adresse IPV4 : identifiants 32 bits de l'interface d'un hôte et d'un routeur

Interface : connexion entre un hôte ou un routeur et un lien physique :

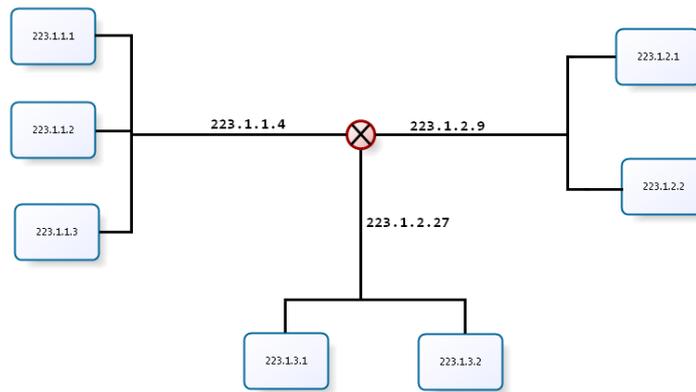
- Un routeur à plusieurs interfaces
- Un hôte a généralement une interface
- L'adresse IP est associée à chaque interface

Base 10 :

223.1.1.1 = 4 octets, avec 8 bits par octet. Donc il y a un total de 32 bits, ce qui donne un nombre 2^{32} combinaisons différentes possibles.

Base 2 :

| | | | | |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| 223.1.1.1 = 223 | 1 | 1 | 00000001 | |
| 223.1.1.1 = 223 | 00000001 | 00000001 | 00000001 | 00000001 |
| 223.1.1.1 = 11011111 | 00000001 | 00000001 | 00000001 | |



ARP (Protocol Couche Liaison) : IP => @Mac

RARP : @Mac => IP

Utilisation d'un masque de connexion :
255.255.255.0

4.4. Adresse IPV4 en Classe

4.4.1. Adresse générales

| Classe | Bits au départ | Début | Fin | Notation CIDR | Masque de réseau |
|---------------|----------------|-----------|-----------------|---------------|------------------|
| A | 0 | 0.0.0.0 | 127.255.255.255 | /8 | 255.0.0.0 |
| B | 10 | 128.0.0.0 | 191.255.255.255 | /16 | 255.255.0.0 |
| C | 110 | 192.0.0.0 | 223.255.255.255 | /24 | 255.255.255.0 |
| D (Multicast) | 1110 | 224.0.0.0 | 239.255.255.255 | | Non défini |
| E (Réservée) | 1111 | 240.0.0.0 | 255.255.255.255 | | Non défini |

4.4.2. Adresses privées :

De manière globale :

| Classe | Début | Fin |
|--------|-------------|-----------------|
| A | 10.0.0.0 | 10.255.255.255 |
| B | 172.16.0.0 | 172.31.255.255 |
| C | 192.168.1.0 | 192.168.255.255 |

De manière plus précise :

| Adresse | Masque | Description | Référence |
|-----------------|--------|-----------------------------------|-----------|
| 0.0.0.0 | \8 | Adresse réseau par défaut | RFC 1700 |
| 10.0.0.0 | \8 | Adresses privées | RFC 1918 |
| 127.0.0.0 | \8 | Adresse de bouclage (localhost) | RFC 1122 |
| 169.254.0.0 | \16 | Adresses locales auto-configurées | RFC 3927 |
| 172.16.0.0 | \12 | Adresses privées | RFC 1918 |
| 192.0.0.0 | \24 | Réservées par l'IETF | RFC 5736 |
| 192.0.2.0 | \24 | Réseau de TEST-NET-1 | RFC 5737 |
| 192.88.99.0 | \24 | 6to4 anycast | RFC 3068 |
| 192.168.0.0 | \16 | Adresses privées | RFC 1918 |
| 192.18.0.0 | \15 | Tests de performance | RFC 2544 |
| 192.51.100.0 | \24 | Réseau de TEST-NET-2 | RFC 5737 |
| 203.0.113.0 | \24 | Réseau de TEST-NET-3 | RFC 5737 |
| 224.0.0.0 | \4 | Multicast | RFC 3171 |
| 240.0.0.0 | \4 | Réservé à un usage non précisé | RFC 112 |
| 255.255.255.255 | \32 | Broadcast limité | RFC 919 |

Adresse IPV4

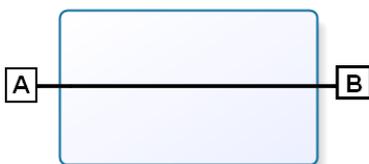
Partie sous-réseau (bits de poids fort)

Partie hôte (bits de poids faible)

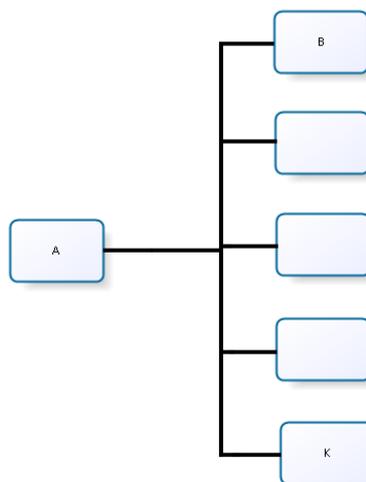
Qu'est-ce qu'un sous réseau ?

- Interfaces de périphériques ayant le même sous-réseau logique dans leur adresse IP
- Peuvent s'atteindre directement sans passer par une passerelle (Gateway)

Unicast :



Broadcast :



Multicast :

