
Bases des réseaux IP

Phil Regnauld



Interconnexion de réseaux

Interconnexion de réseaux

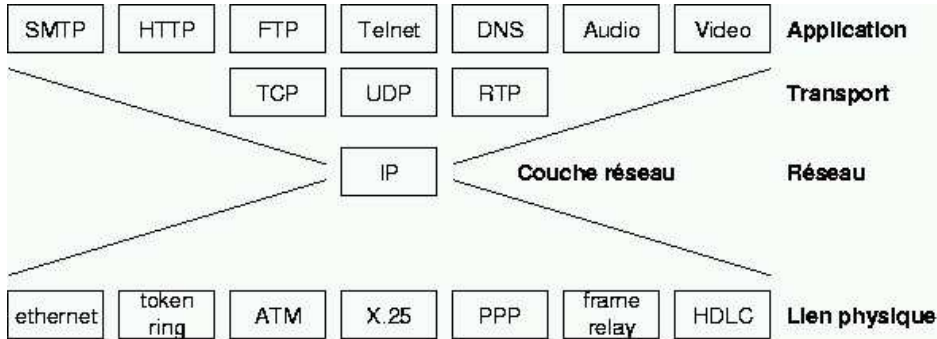
- Plusieurs petits réseaux
- Supports différents:
 - ethernet, lignes spécialisées, RTC, ATM, Frame Relay, FDDI
- Chaque support à ses propres règles d'adressages et ses protocoles
- Comment les relier entre eux et fournir une vue unifiée du tout ?

Unification par la couche réseau

- Définir un protocole qui fonctionne de la même manière quel que soit le support sous-jacent
- Appelons celle-ci la couche réseau
- Les routeurs IP fonctionnent à la couche réseau
- Des méthodes sont définies pour utiliser:
 - IP sur ethernet
 - IP sur ATM
 - IP sur FDDI
 - IP sur ligne série (PPP)
 - IP au dessus de tout... (RFC 1149)

Le modèle en sablier ("hourglass model")

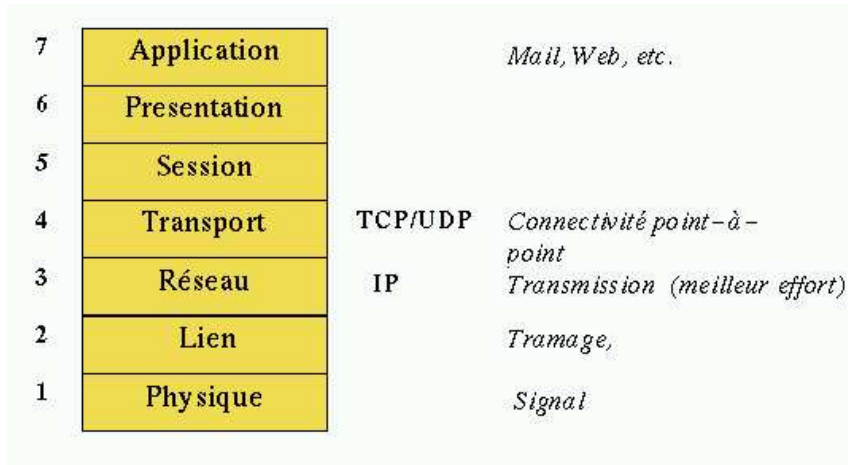
Couches réseau



Trame, Datagramme, Segment, Paquet

- Différents noms pour les paquets à différents niveaux
 - - Ethernet (lien physique): trame
 - - IP (couche réseau): datagramme
 - - TCP (transport): segment
- La terminologie n'est pas strictement respectée
 - On utilise souvent le terme "paquet" à tous les niveaux

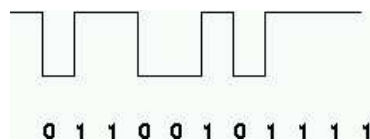
Fonctions des couches dans la pile protocole



Couche 1: couche physique

Couche physique

- Transmets des bits en utilisant du courant électrique, lumière, ondes radio, etc...
- Pas de concept d'octets ou de trames.
- Les bits sont définis par des niveaux de tension, ou autre propriété physique similaire:



Couche 2: données

- Regroupe les bits en trames, achemine les trames entre les stations sur un même lien
- Une trame a un début, une fin et une taille
 - utilisation de certaines valeurs pour délimiter début/fin
- Dispose souvent d'une adresse source et destination sur le lien (ex: adresse MAC ethernet)
- Certains types de liens détectent les trames corrompues
- Certains types de liens relayent les trames corrompues (pas ethernet)

Couche 3: réseau (Ex: IP)

- Un espace d'adressage pour tout le réseau d'interconnexion
- Ajoute une couche d'adressage supplémentaire
 - ex: adresse IP != adresse MAC
 - nous avons donc besoin d'un mécanisme de correspondance entre adresses de niveau différents
- Non fiable (meilleur effort)
 - si les paquets sont perdus, la couche réseau ne s'en soucie pas
 - c'est le rôle des couches supérieures de retransmettre les paquets perdus

"robuste mais non fiable"

Couche 3: réseau (IP -- suite)

- Retransmet les paquets saut par saut (hop by hop forwarding)
 - les paquets de la couche réseau sont encapsulés dans une trame de la couche données
 - différentes formes d'encapsulation sur différents type de liens
 - possibilité d'envoyer sur un lien, retransmettre sur un autre
 - Il peut y avoir de nombreux sauts entre la source et la destination

Couche 3: réseau (IP -- suite)

- Prend des décisions de routage
 - comment envoyer un paquet plus près de sa destination finale ?
 - les tables de routage et de retransmission représentent la "connaissance" de la topologie du réseau
 - les routeurs peuvent discuter entre eux pour échanger des informations sur la topologie du réseau

Couche 4: transport (ex: TCP)

■ Transport bout en bout des segments

- encapsulation des segments TCP par la couche réseau
- ajoute la fiabilité en détectant et réemettant les paquets perdus

utilise les acquittement et le numéros de séquence pour tenir compte des paquets transmis avec succès, transmis dans le désordre ou perdus

des compteurs permettent de faire la différence entre la perte de paquet et les délais

■ UDP est beaucoup plus simple: pas de fiabilité

Couches 5,6,7

■ 5: Session

- pas utilisée dans le modèle TCP/IP

■ 6: Présentation

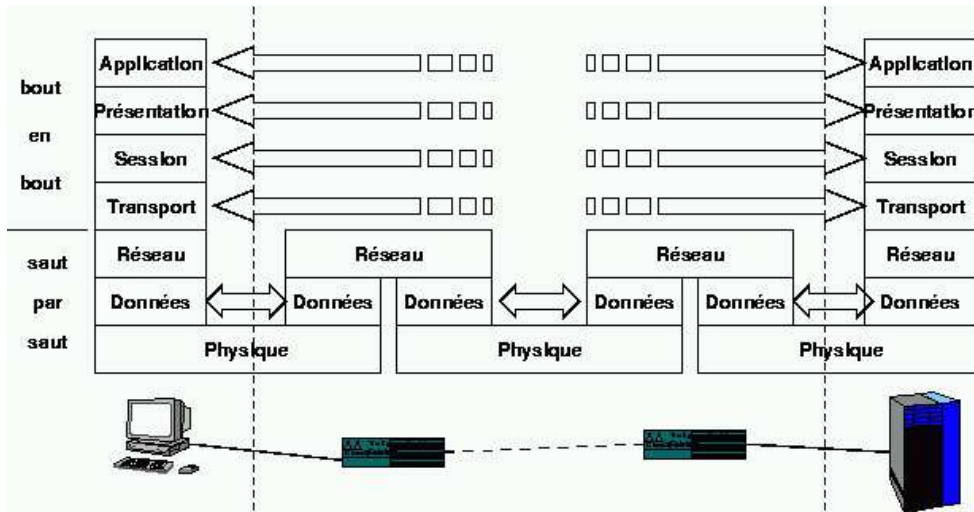
- pas utilisée dans le modèle TCP/IP

■ 7: Application

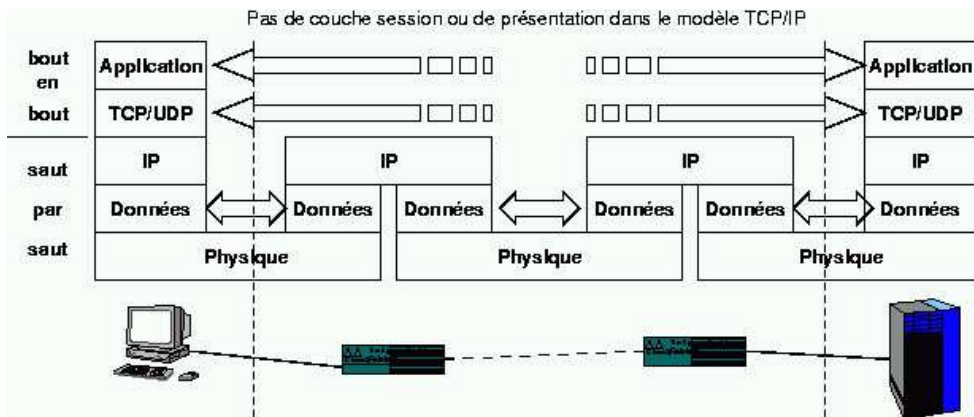
- Utilise les couches sous-jacentes

ex: SMTP (mail), HTTP (web), Telnet, FTP, DNS

Interaction des couches (1)



Interaction des couches (2)

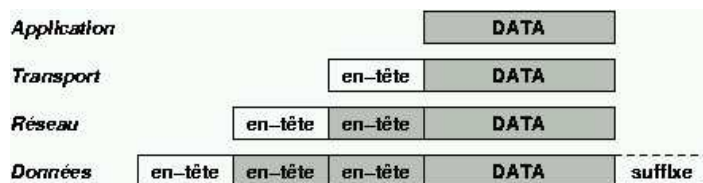


Interaction des couches (3)

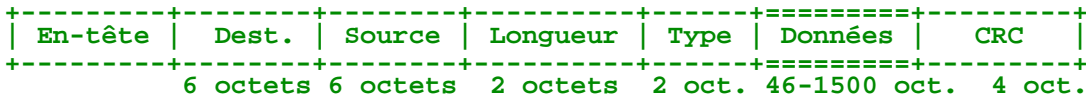
- La couche application est bout-en-bout
- La couche transport est bout-en-bout
 - Encapsulation/décapsulation par la couche réseau aux extrémités
- Couche réseau s'étend à tout le réseau d'interconnexion
 - Encapsulation/décapsulation par la couche réseau à chaque saut
- Les couches physiques et de données peuvent-être différentes à chaque saut:
 - (ethernet, token ring, ppp, fibre...)

Encapsulation

Les couches inférieures ajoutent des en-têtes (et quelquefois des suffixes) aux données des couches supérieures

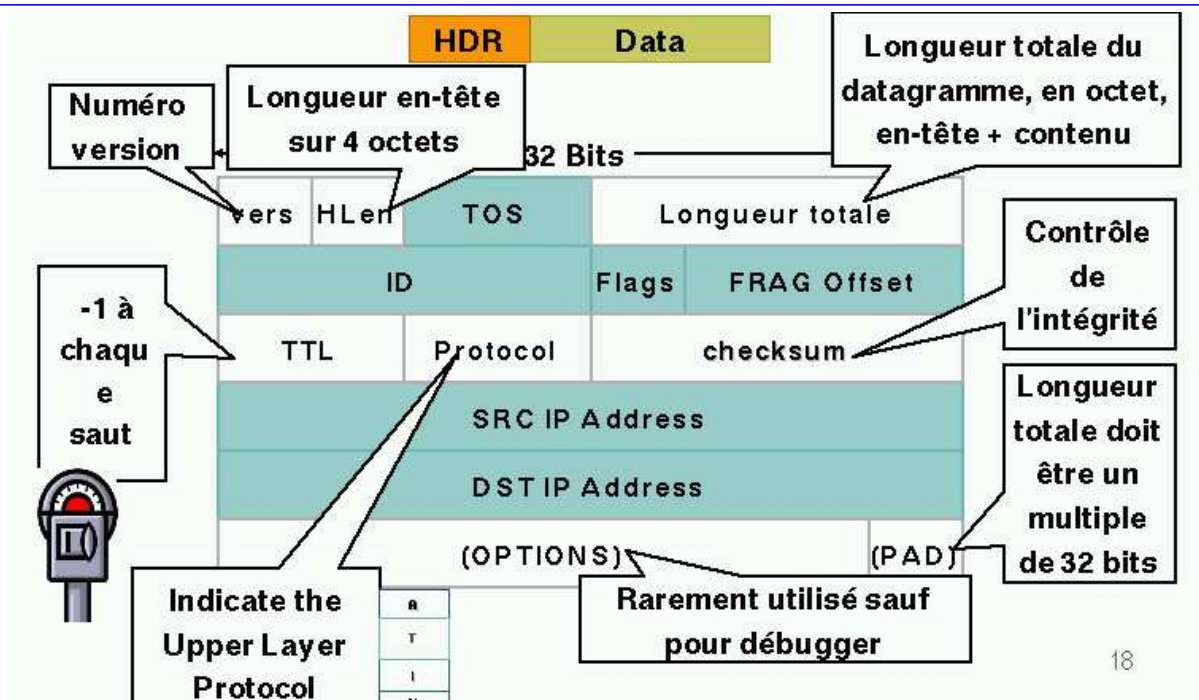


Couche 2: Trame Ethernet



- Destination et source sont des adresses MAC sur 48 bits (6 octets)
- Le type de valeur 0x0800 indique que la partie données de la trame donnée es contient un datagramme IP. Le type 0x0806 indique ARP.

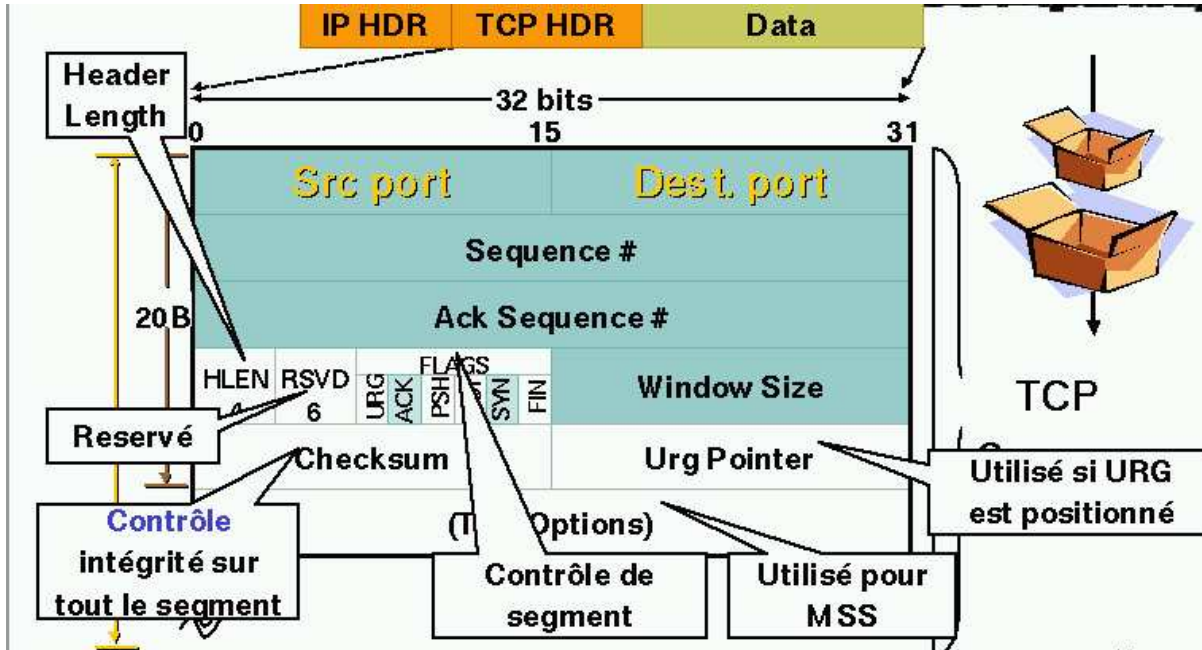
Couche 3: datagramme IP



Version = 4 Si pas d'option, IHL (IP Header Length) = 5

Adresses IP Source et destination sont sur 32 bits

Couche 4: segment TCP



Les ports source et destinations TCP sont sur 16 bits
(L'adresse IP est spécifiée dans l'en-tête IP)

Si pas d'options, la valeur du décalage des données (data offset) = 5

But d'une adresse IP

■ Identification unique

- Source (quelquefois utilisé dans le filtrage)
- Destination (pour que le réseau sache où envoyer les données)

■ Format réseau indépendant (ordre des octets)

- IP au dessus de tout

Structure de base d'une adresse IP

- Nombre sur 32 bits (4 octets, donc 0-255, 0-255, 0-255, 0-255)

- ex: 84.201.95.100

- Représentation décimale

- | 84 | 201 | 95 | 100 |

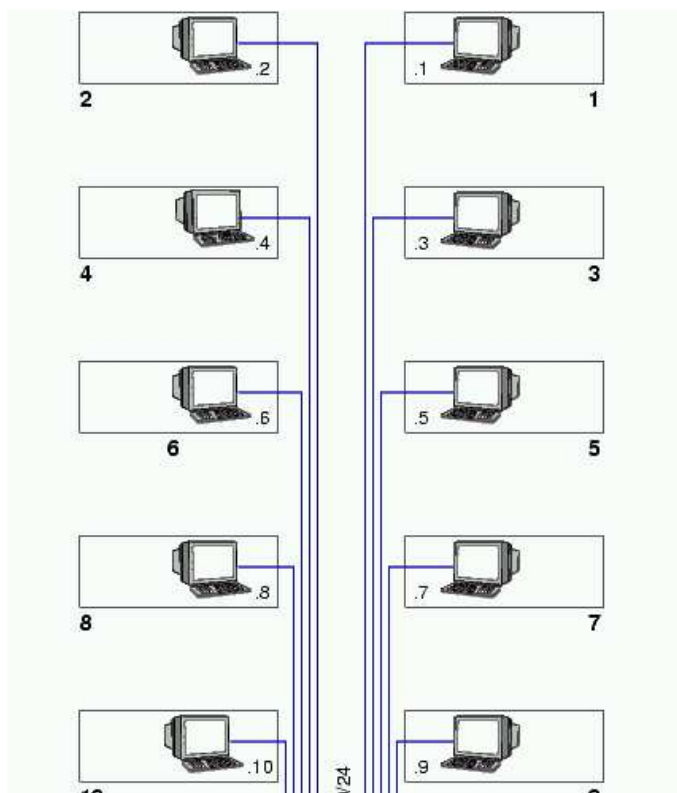
- Représentation binaire

- | 01010100 | 11001001 | 01011111 | 01100100 |

- Représentation hexadécimale

- | 54 | C9 | 5F | 64 |

Exercice adressage



Exercice adressage

- Construire une adresse IP pour relier votre PC au backbone
- 84.201.95.x
- (x = 1 pour la 1ère table, 2 pour la 2ème, et ainsi de suite)
- Ecrire cette adresse sous forme décimale ainsi que binaire

Adressage dans les réseaux d'interconnexions (Internets) (1)

- Plus d'un réseau physique
- Différentes localités
- Plus grand nombre de machines
- Besoin de structure dans les adresses IP
 - partie réseau indique de quel réseau on parle dans le réseau d'interconnexion
 - partie hôte identifie la machine sur ce réseau

Adressage dans les réseaux (2)

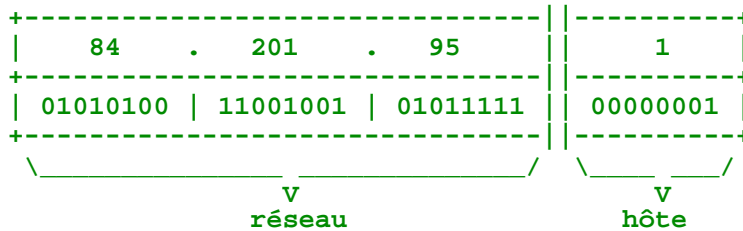
■ Division hiérarchique des adresses IP

- Partie réseau (préfixe)

indique quel réseau physique

- Partie hôte (adresse de la machine)

indique quelle machine sur ce réseau



- La frontière peut se situer n'importe où

TRES souvent elle n'est PAS un multiple de 8 bits!

Masques réseau (netmask)

■ Indique quels bits sont utilisés pour décrire la partie réseau

■ Plusieurs représentations:

notation décimale à point: 255.255.248.0

binaire: 11111111 11111111 11100000 00000000
 <----->
 longueur du masque

nombre de bits: / 19

hexadécimale: 0xFFFFE000

■ L'opération binaire AND de l'adresse IP 32 bits avec le netmask donne la partie réseau de l'adresse

Exemple de préfixes

- 137.158.128.0/17 (netmask 255.255.128.0)
 - 1111 1111 1111 1111 1 || 000 0000 0000 0000
 - -----
 - 1000 1001 1001 1110 1 || 000 0000 0000 0000

- 198.134.0.0/16 (netmask 255.255.0.0)
 - 1111 1111 1111 1111 || 0000 0000 0000 0000
 - -----
 - 1100 0110 1000 0110 || 0000 0000 0000 0000

- 80.248.72.128/25 (netmask 255.255.255.128)
 - 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1 || 000 0000
 - -----
 - 0101 0000 1111 1000 0100 1000 1 || 000 0000

Adresses particulières

- Tout à 0 dans la partie hôte: l'adresse du réseau lui même
 - ex: 193.56.58.0/24 -> réseau 193.56.58.0
 - ex: 84.201.95.128/25 -> réseau 84.201.95.128

- Tout à 1 dans la partie hôte: diffusion sur ce réseau (broadcast)
 - ex: 130.226.255.255 (130.226.0.0/16)
 - ex: 134.132.100.255 (134.132.100.0/24)
 - ex: 190.0.127.255 (190.0.0.0/17)

- 127.0.0.0/8: boucle locale (loopback -> 127.0.0.1)

- 0.0.0.0: utilisation spéciale (DHCP, ...)

Exercices d'adressage

- Sachant qu'il y a 11 routeurs sur le réseau dorsal (backbone) de la salle de classe:
 - Quel est le nombre minimum de bits nécessaire dans la partie hôte pour pouvoir allouer une adresse IP unique à chaque routeur ?
 - Quel est la longueur du préfixe correspondante ? / X
 - Quel est le netmask correspondant (en décimal) ? 255.X.Y.Z
 - Combien de machines au total peut-on adresser avec ce netmask ?

Exercices binaires

- En décimal (base 10), le nombre 403 signifie:
 - $(4 \cdot 10^2) + (0 \cdot 10^1) + (3 \cdot 10^0)$
 - $\Leftrightarrow (4 \cdot 100) + (0 \cdot 10) + (3 \cdot 1)$
 - $\Leftrightarrow 400 + 0 + 3$
- Pareillement, en binaire (base 2), le nombre 1011 signifie:
 - $1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$
 - $\Leftrightarrow 1 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1$
 - $\Leftrightarrow 8 + 0 + 2 + 1$
 - $\Leftrightarrow 11$ en décimal

Regroupement de nombre décimaux

- Supposons que nous avons une liste de nombres décimaux 4 chiffres allant de 0000 à 9999.
- On veut faire un groupe de 10^2 (100) nombres
- On pourrait utiliser 00xx (0000 à 0099) ou 31xx (3100 à 3199), ou encore 99xx (9900 à 9999), etc...
- On ne peut pas utiliser (0124 à 0223) ou (3101 à 3200), parce qu'ils ne forment pas de groupe homogènes

Regroupement de nombres binaires

- Supposons que l'on ait une liste de nombres binaires de 4 chiffres allant de 0000 à 1111.
- On veut former des groupes de 2^2 (4) nombres.
- On pourrait utiliser 00xx (0000 à 0011), ou 01xx (0100 à 0111) ou 10xx (1000 à 1011) ou encore 11xx (1100 à 1111)
- On ne peut pas utiliser (0101 à 1000) ou (1001 à 1100), parce qu'ils ne forment pas de groupes homogènes

Regroupement de nombres décimaux

■ Soit une liste de nombres décimaux à 4 chiffres (0000 à 9999) $\rightarrow 10^4 = 10000$ nombres en tout.

■ On peut avoir:

- 10^1 (10) groupes de 10^3 (1000)
- 10^2 (100) groupes de 10^2 (100)
- 10^3 (1000) groupes de 10^1 (10)
- 10^4 (10000) groupes de 1

■ Tout grand groupe peut être sous divisé en groupes plus petits, et ceci de manière récursive.

Regroupement de nombres binaires (1)

■ Soit une liste de nombres binaires à bits (0000 à 1111) $\rightarrow 2^4 = 16$ nombres en tout.

■ On peut avoir:

- 2^1 (2) groupes de 2^3 (8)
- 2^2 (4) groupes de 2^2 (4)
- 2^3 (8) groupes de 2^1 (2)
- 2^4 (16) groupes de 1

■ Tout grand groupe peut être sous divisé en groupes plus petits, et ceci de manière récursive.

Regroupement de nombres binaires (2)

■ Soit grand nombre de nombres sur 32-bits (000...000 à 111...111)

■ On peut avoir:

- 2^0 (1) groupe de 2^{32} nombres
- 2^8 (256) groupes de 2^{24} nombres
- 2^{25} groupes de 2^7 nombres

■ Prenons un groupe de 2^7 (128) nombres

- ex: 1101000110100011011010010xxxxxxxx
- On peut le diviser en 2^1 (2) groupes de 2^6 (64)
- On peut le diviser en 2^3 (8) groupes de 2^4 (16)
- etc...

Niveaux de hiérarchie

■ Ne pas oublier de la division d'une adresse IP en une partie réseau et une partie hôte

■ De manière similaire, on peut regrouper plusieurs réseaux dans un plus grand bloc, ou diviser un grand bloc en blocs plus petits (supernetting et subnetting)

- nombre arbitraire de niveaux et de hiérarchies
- les blocks n'ont pas besoin d'être de la même taille (VLSM)

■ Les vieilles implémentations sont souvent moins flexibles

Ancienne classification des adresses IP (1)

- Différentes classes utilisées pour représenter différentes tailles de réseaux (petit, moyen, grand)
- Classe A (grand)
 - 8 bits de réseau, 24 bits hôte (/8 => 255.0.0.0)
 - Premier octet dans l'intervalle 0-127
- Classe B (moyen)
 - 16 bits de réseau, 16 bits hôte (/16 => 255.255.0.0)
 - Premier octet dans l'intervalle 128-191
- Classe C (petit)
 - 24 bits de réseau, 8 bits hôte (/24 => 255.255.255.0)
 - Premier octet dans l'intervalle 192-223

Ancienne classification des adresses IP (2)

- Il suffit de regarder l'adresse pour connaître la classe
 - Classe A: 0.0.0.0 à 127.255.255.255
binaire 0xxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx
 - Classe B: 128.0.0.0 à 191.255.255.255
binaire 10xxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx
 - Classe C: 192.0.0.0 à 223.255.255.255
binaire 110xxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx
 - Classe D (multicast): 224.0.0.0 à 239.255.255.255
binaire 1110xxxx xxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx
 - Classe E (réservé): 240.0.0.0 à 255.255.255.255

Netmasks implicites des classes d'adresses

- Un réseau "à classe" (classful) à netmask / longueur de préfixe implicite:
 - Classe A: préfixe de longueur 8, netmask 255.0.0.0
 - Classe B: préfixe de longueur 16, netmask 255.255.0.0
 - Classe C: préfixe de longueur 24, netmask 255.255.255.0
- Les équipements de routage anciens suivent souvent le netmask implicite.
- Les équipements de routage modernes utilisent toujours un netmask / longueur de préfixe explicite.

Découpage en sous-réseau (subnetting) des réseaux à classe

- Les anciens équipements de routage permettaient à un réseau à classe (classful) d'être divisé en sous-réseaux
 - Tous les sous-réseaux (du même réseau à classe) devaient être de même taille et avoir le même netmask
 - Les sous-réseaux ne pouvaient pas être sous-divisés eux-mêmes
- Aucune de ces restrictions ne s'applique aux systèmes modernes

Groupage traditionnel (supernetting)

- Certains anciens systèmes autorisaient le supernetting, c'est-à-dire le regroupement la création de groupes de réseaux adjacents, vus comme un seul réseau.
 - Par exemple: combinaison de 2 réseaux de Classe C (ayant des numéros consécutifs) peuvent être groupé en un supernet de masque 255.255.254.0 (/23)
- Un système moderne utilise un principe plus générale sans classes (classless)

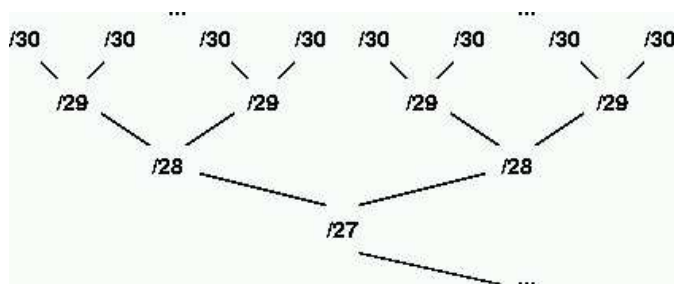
Adressage sans classes (classless)

- Oubliez les classes A, B et C
- Le routage dans l'Internet et la gestion d'adresse se font aujourd'hui sans classes
- CIDR = Classless Inter Domain Routing
- (routage interdomaine sans classe)
 - le routage ne déduit pas qu'un réseau dont le nombre est de classe A, B ou C à une longueur de préfixe de /8, /16 ou /24
- VLSM = Variable Length Subnet Masks (masque de sous-réseau à longueur variable)
 - le routage ne conclut pas que tous les sous-réseaux sont de même taille

Exemple d'adressage sans classe

- Un grand ISP obtient un gros bloc d'adresses
 - ex: un préfixe /16, c'est à dire 65536 adresses
- Il alloue des blocs plus petits aux clients, par exemple:
 - un préfixe /22 (1024 adresses) à un client
 - et un préfixe /28 (16 adresses) à un autre client
- Une organisation qui obtient un /22 de son ISP peut à son tour le sous-diviser en blocs plus petits, par exemple:
 - un préfixe /26 (64 adresses) pour un département,
 - un préfixe /27 (32 adresses) pour un autre département.

Hiérarchie des préfixe CIDR



Exercice d'adressage sans classe

- Prenons un bloc d'adresses 84.201.95.0/24
- Allouez 8 blocs /29 et un bloc /28
- Quelle est l'adresse IP de chaque bloc ? (adresse réseau)
 - en notation longueur de préfixe (A.B.C.D/X)
 - avec netmask en décimal
 - les plages d'adresses associées
- Quelle est le plus grand bloc qui soit encore disponible ?
- Quels autres blocs reste-t-il ?

Routeur IP

- Un équipement ayant plus d'une interface au niveau de la couche de données
- Plusieurs adresses IP (dans des sous-réseaux différents) sur des interfaces différentes
- Reçoit des paquets sur une interface, et le retransmet (forwarding), souvent sur une autre interface, pour les rapprocher de leur destination
- Maintient une table de retransmission (!= routage, bien qu'elles soient souvent confondues)

IP -- une décision pour chaque paquet

- Un paquet est reçu sur une interface
- Vérification pour voir l'adresse de destination est le routeur lui-même
- Décrément du TTL (Time to Live), destruction du paquet si le TTL atteint 0
- Recherche de la destination dans la table de retransmission
- La destination peut-être sur un lien directement connecté, ou via un autre routeur

Le forwarding saut par saut

- Chaque routeur essaye de transmettre le paquet un saut plus loin, vers la destination
- Chaque routeur prend une décision indépendante, basé sur sa table de retransmission
- Des routeurs distinct auront des tables de routage différentes
- Les routeurs discutent entre eux en utilisant des protocoles des routage, pour mettre à jour la table de routage et de retransmission

Structure de la table de retransmission (forwarding)

- La table ne contient pas toutes les adresses IP de l'Internet
- A la place, la table de forwarding contient des préfixes (numéros de réseau)
 - "Si les /n premiers bits correspondent à cette entrée, envoyer le datagramme dans cette direction"
- Si plus d'un préfixe correspond, le préfixe le plus long "gagne" (route la plus spécifique)
- 0.0.0.0/0 est une "route par défaut" -- elle correspond à tout, mais uniquement s'il n'existe pas d'autre préfixe correspondant.

Types de liens

- Différentes stratégies d'encapsulation et de d'acheminement des paquets IP sur les différents type de liens
- Point-à-Point - ex: PPP
- Diffusion (broadcast) - ex: Ethernet
- Non-broadcast, multi-access - ex: Frame Relay, ATM

Liens point-à-point

- Deux hôtes sont reliés par un lien point-à-point
 - les données envoyées par l'un sont reçues par l'autre
- L'émetteur prend un datagramme IP, l'encapsule d'une manière ou d'une autre (PPP, HDLC, SLIP, ...) et le transmet
- Le destinataire enlève l'encapsulation de la couche de données
- Vérification de l'intégrité, jette les mauvais paquets, et traite les paquets corrects.

Lien à diffusion (broadcast) - 1

- De nombreux hôtes connectés à un média de diffusion
 - les données envoyées par un hôte peuvent être reçues par tous les autres
 - ex: radio, ethernet

Lien à diffusion (broadcast) - 2

- Limite les interférences en empêchant les transmissions simultanées (CSMA/CD ou CSMA/CA)

- Addressages individuel des hôtes
 - les machines savent ainsi quels paquets leur sont destinés, et donc traiter, et lesquels ignorer

 - l'adressage de la couche données est très différente de celui de la couche réseau

- Correspondance entre les adresses de couche réseau et celles de la couche de données (ex: ARP)

Liens NMBA (Non-broadcast, multi-access)

- ex: X.25, Frame Relay, SMDS

- De nombreux hôtes

- Chaque hôte dispose d'une adresse unique sur la couche de données

- Chaque hôte peut potentiellement envoyer un paquet à toute autre machine

- Chaque paquet est reçu par un seul hôte

- Dans certains cas, la diffusion (broadcast) est également disponible

Rappels essentiels sur l'ethernet

- Ethernet est un média de diffusion
- Structure d'une trame ethernet



- Un datagramme IP constitue la totalité de la partie données d'une trame Ethernet
- Mécanisme d'acheminement (CSMA/CD)
 - On attend et on réessaie plus tard en cas de collision

Correspondance IP/Ethernet

- Adresse Internet
 - unique au monde (sauf pour les réseaux privés RFC 1918)
 - indépendante du réseau physique
- Adresse Ethernet
 - unique au monde (sauf erreurs)
 - ethernet seulement
- Besoin d'effectuer une correspondance de la couche supérieure vers la couche inférieure (c'est-à-dire IP vers Ethernet), en utilisant ARP

Le protocole de résolution d'adresse ARP

- Vérifier le cache ARP pour voir si l'adresse IP y figure
- Si elle n'est pas trouvée, paquet broadcast contenant l'adresse IP envoyée à chaque host sur l'éthernet
- Le "propriétaire" de l'adresse IP répond
- La réponse est cachée dans la table ARP pour réutilisation future
- Les anciennes entrées sont supprimées après un certain temps

EOF

Questions ?

