

Protocole IP

Lila Boukhatem

LISN : Laboratoire interdisciplinaire des sciences du numérique
Université Paris Saclay

Lila.Boukhatem@universite-paris-saclay.fr



1

Plan

- ▶ Réseau Internet
- ▶ Protocole IP
 - ▶ Datagramme IP
 - ▶ Fragmentation et réassemblage
- ▶ Adressage IP
 - ▶ CIDR
 - ▶ Masques
- ▶ Routage IP
 - ▶ Principe
 - ▶ Routage statique
 - ▶ Routage dynamique
- ▶ Protocoles ARP et ICMP
- ▶ Routage dynamique

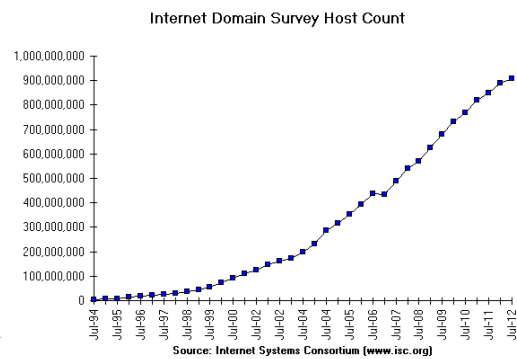


2

Introduction

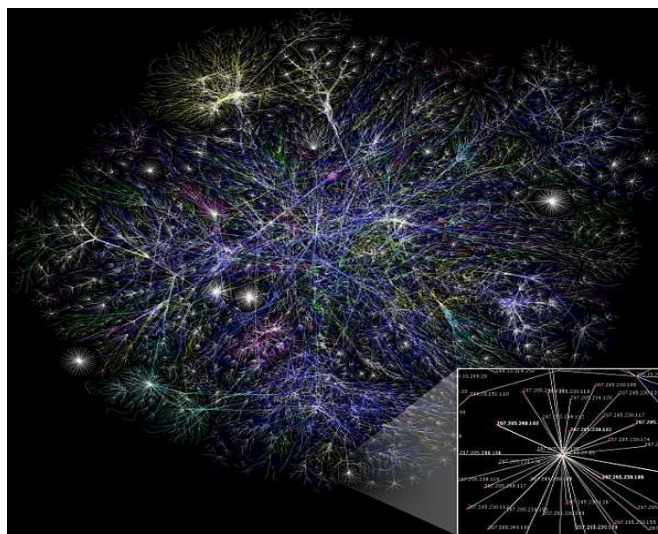
► Internet

- Réseau international constitué de l'interconnexion de multiples réseaux
- Technologie issue des années 70, projets de la DARPA
- 1977/79 : l'architecture et les protocoles ont acquis leur forme actuelle
- Croissance de 15 % par an en 1987 et de 60% par an en 1997



3

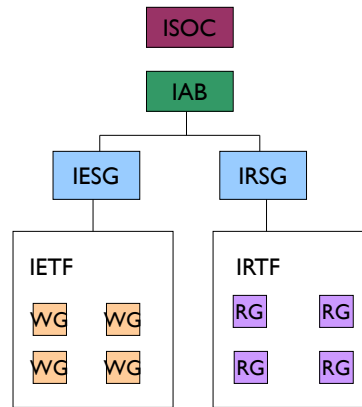
Internet (Inter-network)



4

Introduction

- ▶ **ISOC (Internet SOCIety)**
 - ▶ Favorise le développement et l'évolution du réseau
- ▶ **IAB (Internet Architecture Board)**
 - ▶ Développement technique du réseau, planifier la stratégie de développement
- ▶ **IESG (Internet Engineering Steering Group)**
 - ▶ Processus de standardisation
- ▶ **IRSG (Internet Research Steering Group)**
 - ▶ Actions de recherche à long terme
- ▶ **IETF (Internet Engineering Task Force)**
 - ▶ Définition et expérimentation des protocoles
- ▶ **IRTF (Internet Research Task Force)**
 - ▶ Exploration de nouvelles voies
- ▶ **Les RFC**
 - ▶ Documents de travail de l'IETF
 - ▶ Propositions pour l'ajout ou la modification de protocoles
 - ▶ Peuvent faire figure de standards ou propositions
- ▶ **RFC 5000 (Internet Official Protocol Standards)**
 - ▶ Fait le point sur l'état de standardisation des protocoles d'Internet

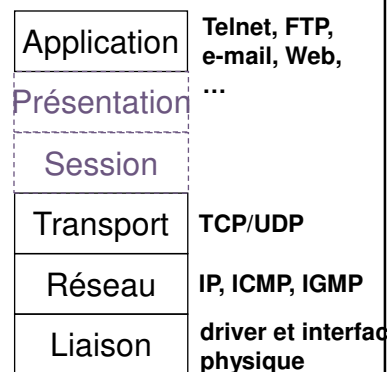


5

Introduction

▶ L'architecture

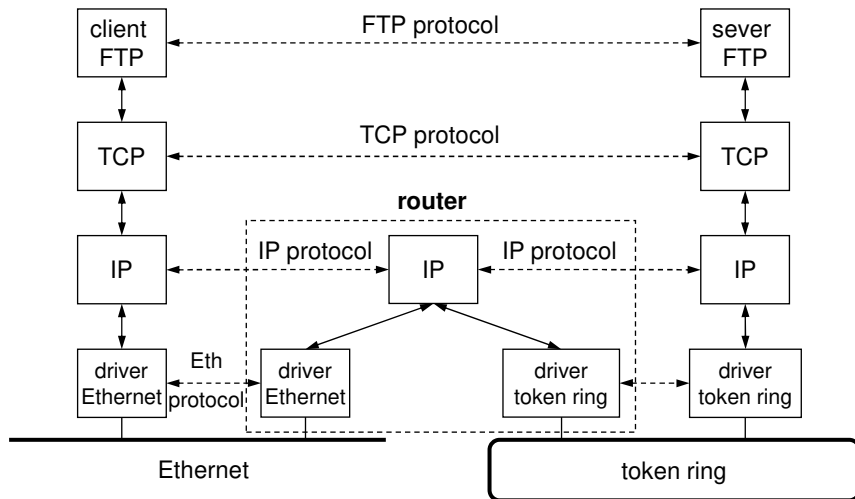
- ▶ Internet est basé sur les protocoles
 - ▶ TCP (Transmission Control Protocol)
 - ▶ IP (Internet Protocol)
- ▶ L'architecture Internet est divisée en 4 couches
 - ▶ Couche application (Telnet, FTP, SNMP, HTTP, ...)
 - ▶ Couche transport (TCP, UDP)
 - ▶ Couche réseau (IP) qui fournit les services fondamentaux pour l'acheminement des paquets à leur destination
 - ▶ Couche interface qui assure les fonctionnalités des niveaux 1 et 2 du modèle OSI



6

Structuration en couches

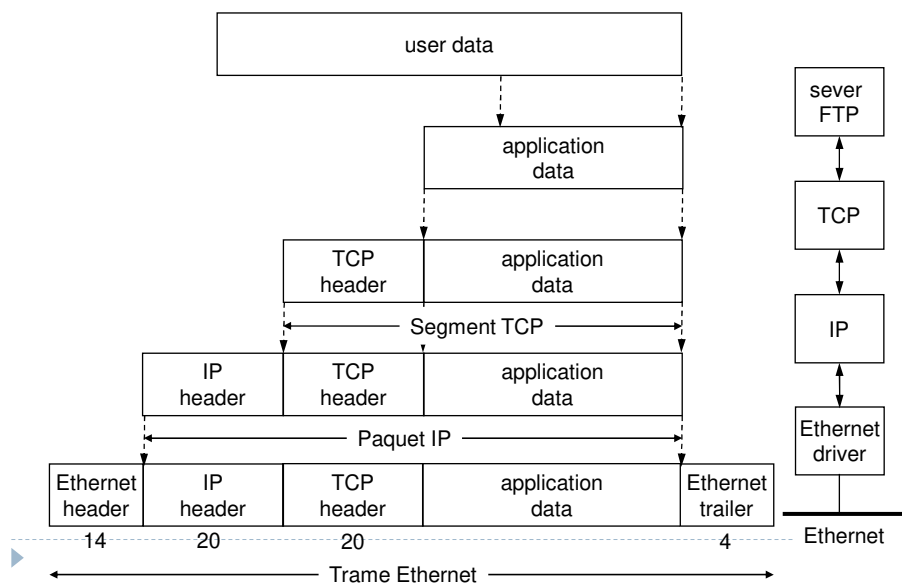
L'interconnexion



7

Structuration en couches

L'encapsulation



8

Plan

- Réseau Internet
- **Protocole IP**
 - **Datagramme IP**
 - **Fragmentation et réassemblage**
- Adressage IP
 - CIDR
 - Masques
- Routage IP
 - Principe
 - Routage statique
 - Routage dynamique
- Protocoles ARP et ICMP
- Routage dynamique



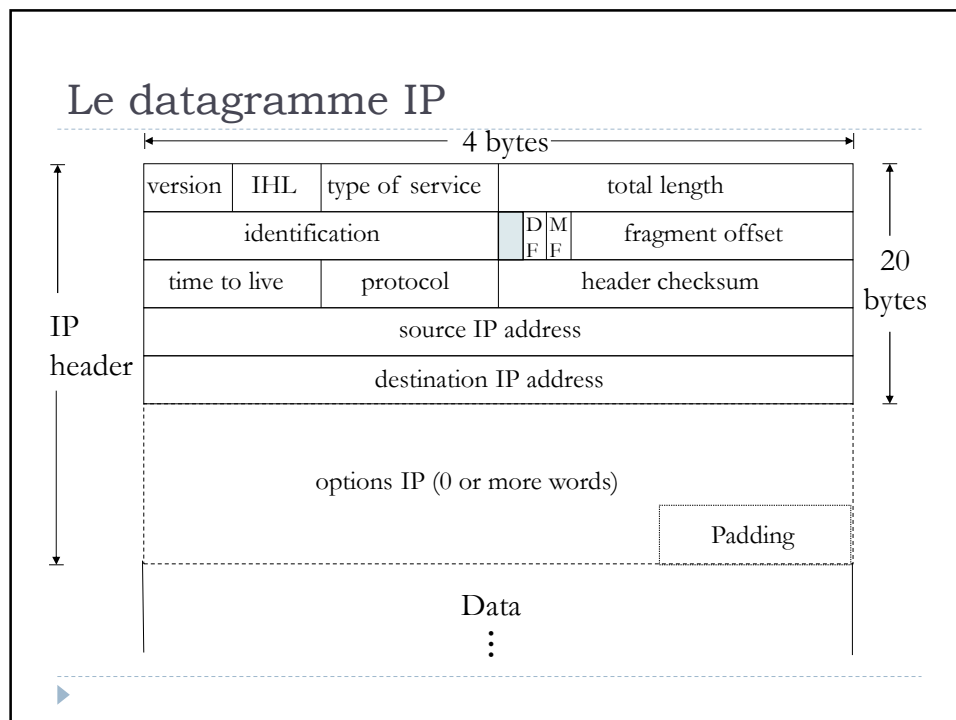
9

Le protocole IP

- Le service offert par le protocole IP
 - non fiable
 - Remise de paquets non garantie
 - Le service ne détecte pas les paquets perdus, dupliqués, retardés, déséquencés
 - sans connexion
 - Les paquets sont traités indépendamment les uns des autres
 - *best effort*
 - Le protocole fait de son mieux pour transporter les paquets de la source à la destination
 - La non fiabilité apparaît uniquement suite à l'absence de ressources ou à des pannes du réseau sous-jacent



10



11

Le datagramme IP

- ▶ **Version (4 bits)**
 - ▶ Numéro de version du protocole IP utilisé pour créer le paquet
 - ▶ IPv4 / IPv6
- ▶ **IHL (IP Header Length)**
 - ▶ Longueur de l'entête en mots de 32 bits (longueur min 20o/max 60o)
- ▶ **TOS (Type Of Service)**
 - ▶ *Precedence* (3 bits) : niveau de priorité du paquet (entre 0 et 7) (importance du datagramme)
 - ▶ D, T, R, C (1 bit) : indicateurs spécifiant le type d'acheminement souhaité (Delay, Throughput, Reliability, Cost)
- ▶ **Total length (16 bits)**
 - ▶ Longueur en octets du paquet IP (header + payload)
 - ▶ Taille max 65535o

12

Le datagramme IP

- ▶ Identification, Flags, Fragment Offset
 - ▶ La fragmentation
 - ▶ **MTU** (Maximum Transfer Unit) : Chaque technologie de commutation de paquet fixe une borne supérieure concernant la quantité de données transférable dans une même trame
 - ▶ Exp : Ethernet 1500 oct.
 - ▶ Lorsque le datagramme est routé vers un réseau dont la MTU (Maximum Transfer Unit) est plus petite que le datagramme reçu, le routeur le fragmente en un certain nombre de fragments
 - ▶ Le destinataire final reconstitue le datagramme initial à partir de l'ensemble des fragments reçus
 - ▶ Remarques
 - ▶ Si un seul des fragments est perdu, le datagramme initial est considéré comme perdu (à la réception du premier fragment, le destinataire arme un temporisateur de réassemblage (*reassembly timer*))
 - ▶ La probabilité de perte d'un datagramme augmente avec la fragmentation

13

Le datagramme IP

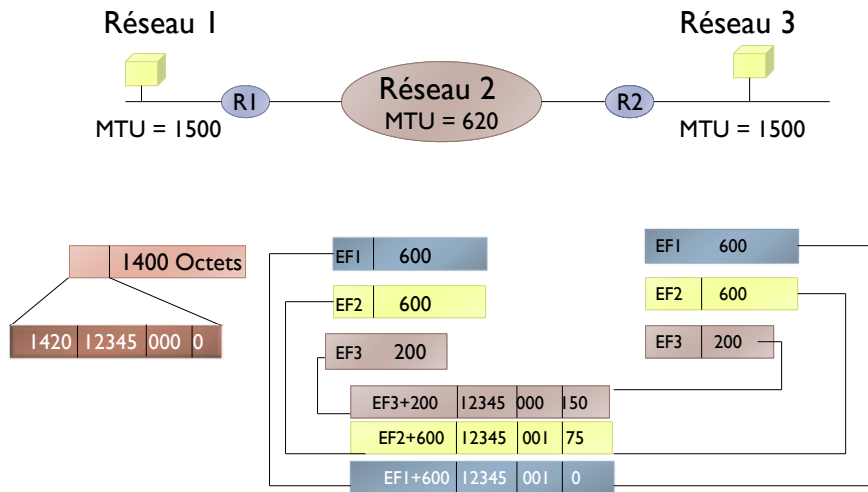
- ▶ Identification (16 bits)
 - ▶ Permet à la machine destinataire de déterminer à quel datagramme appartient le fragment reçu
 - ▶ Tous les fragments d'un même datagramme ont la même valeur d'identification
- ▶ Flags (3 bits)
 - ▶ DF (Do not Fragment)
 - ☐ Signifie : le paquet ne doit pas être fragmenté
 - ▶ MF (More Fragment)
 - ☐ Signifie : fragment non unique
 - ☐ Tous les fragments sauf le dernier ont leur MF activé
- ▶ Fragment Offset (13 bits)
 - ▶ Indique la position du premier octet du fragment dans le datagramme total
 - ▶ Tous les fragments, excepté le dernier, doivent avoir des longueurs multiples de 8 octets

Inutilisé	DF	MF
-----------	----	----

14

Le fragmentation IP

Un exemple



15

Le datagramme IP

- ▶ **TTL (Time To Live) : Durée de vie (8 bits)**
 - ▶ Indique nombre maximal de routeurs qu'un paquet peut traverser
 - ▶ Il est décrémenté d'une unité à chaque traversée d'un routeur
 - ▶ Lorsque la durée expire, le datagramme est détruit et un message d'erreur est renvoyé à l'émetteur
- ▶ **Protocole (8 bits)**
 - ▶ Identifie le protocole de niveau supérieur dont le message est véhiculé dans le champ « données » du datagramme
 - ▶ 6 : TCP, 17 : UDP, 1 : ICMP
- ▶ **Header Checksum (16 bits)**
 - ▶ Vérifie la validité de l'en-tête ; détecte les erreurs survenant dans l'en-tête du datagramme

16

Le datagramme IP

► Options

- Fonctionnalités supplémentaires, facultatives, de longueur variable
- Chaque option commence par un octet d'identification
 - Plusieurs options sont définies, mais ne sont pas systématiquement admises par tous les routeurs
- Le bit C indique que l'option doit être recopiée dans tous les fragments (c=1) ou bien uniquement dans le premier fragment (c=0)

0	1	2	3	7
C	Classe d'option			Numéro d'option

► Exemples d'options

- Enregistrement de route (Classe=0, option=7)
 - Indique aux routeurs traversés de mentionner leur adresse IP dans le champ Option
 - Permet aux administrateurs de localiser les dysfonctionnements des algorithmes de routage
- Routage strict prédéfini par l'émetteur (Classe=0, option=9)
 - Oblige le datagramme à suivre un chemin obligatoire
 - Utilisé par les administrateurs pour envoyer des alarmes



17

Plan

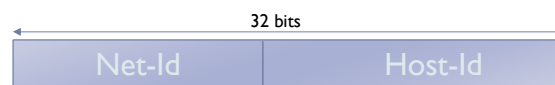
- Réseau Internet
- Protocole IP
 - Datagramme IP
 - Fragmentation et réassemblage
- Adressage IP
 - CIDR
 - Masques
- Routage IP
 - Principe
 - Routage statique
 - Routage dynamique
- Protocoles ARP et ICMP
- Routage dynamique



18

L'adresse IP

- ▶ Toute interface connectée à un Internet doit avoir une adresse IP qui est :
 - ▶ Unique
 - ▶ Universelle
 - ▶ Contient les informations nécessaires pour la localiser et de l'identifier
 - ▶ Codée sur **32 bits**
 - ▶ Hiérarchique : constituée de deux champs :
 - ▶ Un identificateur réseau (Net-Id) : les machines appartenant au même réseau doivent avoir le même Net-Id
 - ▶ Un identificateur de la machine (Host-Id)



- ▶ Un hôte connecté à plusieurs réseaux a autant d'adresses IP

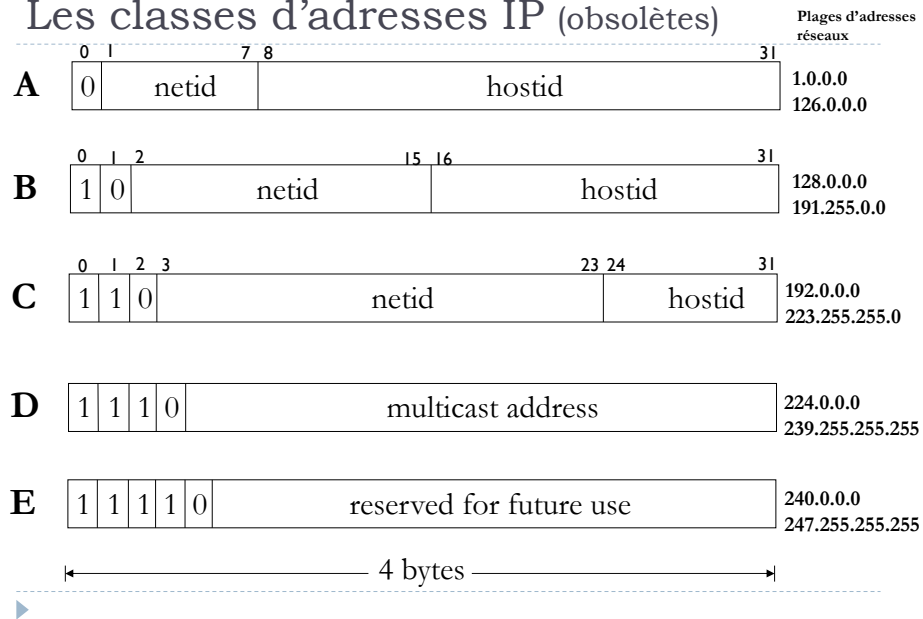
19

L'adresse IP

- ▶ Notation « décimal pointé »
 - ▶ Chacun des 4 octets du mot de 32 bits est écrit en décimal (de 0 à 255)
10000000 00001010 00000010 00011110
s'écrit :
128.10.2.30
 - ▶ Pour désigner une machine, le net-Id et le host-Id sont spécifiés : 192.23.19.1
 - ▶ Pour désigner un réseau seul le net-Id est spécifié (le host-Id est à 0) :
192.23.19.0
- ▶ Qui l'attribue?
 - ▶ L'ICANN : Internet Corporation for Assigned Names and Numbers
 - ▶ Habilité à délivrer les numéros d'identification des réseaux
 - ▶ Gestion du système de nom de domaine (DNS)
 - ▶ Délégation à des organismes régionaux (RIRs : Regional Internet Registers)
 - ▶ Plan d'adressage
 - ▶ L'administrateur de réseau attribue les numéros de machine aux différentes stations de son réseau selon un « plan d'adressage » qu'il a conçu

20

Les classes d'adresses IP (obsolètes)



21

Les adresses IP

► Les adresses IP particulières

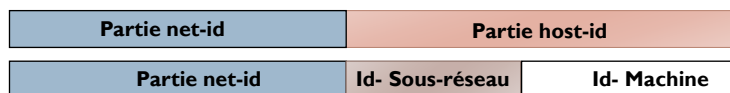
► Elles **ne peuvent être utilisées** comme adresse de machine

- Tout à zéro : 0.0.0.0
 - Peut être utilisée par la machine lors d'une procédure d'initialisation
- Host-Id à zéro : Net-Id.000....00
 - Identifie l'adresse du réseau
- Host-Id à 1 : Net-Id.1111....11
 - **Adresse de diffusion** sur le réseau identifié par le Net-Id
- Net-Id = 127 : exp 127.0.0.1
 - **Adresse de rebouclage** (*Loopback*)
 - Désigne la machine locale (*localhost*)
- Les **adresses privées** (RFC 1918)
 - Adresses qui n'ont de signification qu'à l'intérieur du site, pour sortir vers l'extérieur (Internet), l'entreprise/utilisateur doit, par exemple, traduire les adresses internes en adresses externes (NAT : Network Address Translator) (RFC 3022)
 - Classe A : de 10.0.0.0 à 10.255.255.255
 - Classe B : de 172.16.0.0 à 172.31.255.255
 - Classe C : de 192.168.0.0 à 192.168.255.255

22

Sous-réseaux ou Subnetting

- ▶ Un site est souvent constitué de plusieurs réseaux physiques
- ▶ Chacun devrait avoir sa propre plage d'adresses
- ▶ Solution
 - ▶ Extension du plan d'adressage initial. Division en sous-réseaux (subnetting, 1985)
 - ▶ Diviser la partie host-id en deux parties



- ▶ Les sous-réseaux ne sont visibles que dans le site
- ▶ Un même **netid** est partagé par plusieurs réseaux physiques. Le découpage d'un site en sous-réseaux permet
 - ▶ de dissimuler l'organisation interne d'un réseau
 - ▶ de réduire la taille des tables de routage des gateways

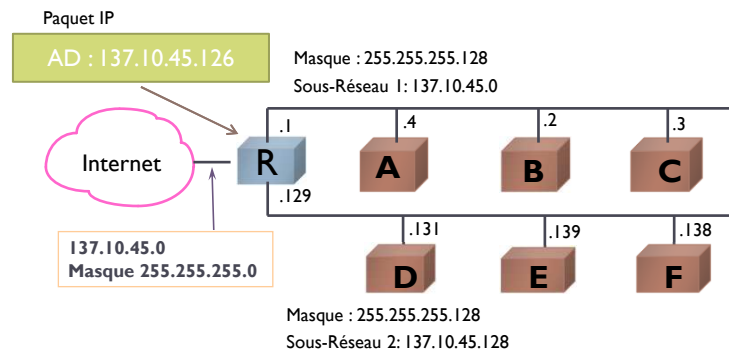
23

Masques de réseau

- ▶ **Masques de réseau/sous-réseaux**
- ▶ Le masque de sous-réseau permet d'identifier le réseau/sous-réseaux associé à une adresse IP
 - ▶ Principe
 - ▶ A l'instar d'une adresse IP, le masque de sous-réseau (subnet mask) est sur 4 octets
 - ▶ Partie réseau : bits positionnés à 1
 - ▶ Partie machine : bits positionnés à 0
 - ▶ Adresse réseau = @IP AND Masque (AND = ET logique)
- ▶ **Remarque**
 - ▶ Masques par défaut des classes :
 - A = 255.0.0.0
 - B = 255.255.0.0
 - C = 255.255.255.0
 - ▶ Exemple
 - @IP = 143.27.4.101 possède un masque Netmask = 255.255.0.0
 - @IP : 10001111 00011011 00000100 01100101
 - Netmask : 1111 1111 1111 1111 00000000 00000000 AND
 - Net-ID : 10001111 00011011 00000000 00000000 = 143.27.0.0

24

Sous-réseaux : exemple



25

L'adressage Internet

- ▶ **Limites d'IPv4**
 - ▶ Saturation des adresses IPv4 (classe B)
 - ▶ Explosion des tables de routage
- ▶ **Solutions**
 - ▶ A court terme
 - ▶ DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)
 - ▶ CIDR (Class-less Inter Domain Routing)
 - Attribution stricte d'adresses IP
 - ▶ Adresses privées/NAT
 - ▶ A long terme
 - ▶ IPv6 (Ipng)

26

CIDR (Classless Inter-Domain Routing)

- ▶ Problèmes de résistance au facteur d'échelle :
 - ▶ Épuisement de l'espace d'adressage de la classe B
 - ▶ pas de classe adaptée au organisation de taille moyenne (200-4000 hosts)
 - ▶ Croissance (exponentielle) des tables de routage dans Internet
 - ▶ Épuisement éventuel des adresses IP de 32 bits
- ▶ CIDR Solution temporaire en attendant qu'une solution à plus long terme soit trouvée
- ▶ Notion de classe obsolète : Variable-length subnetting techniques – supernetting

27

CIDR : Exemple

▶ Exemple

▶ Site X : →

193.18.49.00
194.40.27.00
194.45.32.00
195.32.24.00
195.35.35.00
195.75.35.00

▶ Solution

- ▶ Attribuer des classes C par blocs contigus
- ▶ Préfixe + longueur du préfixe
- ▶ Agrégation des adresses : 1 entrée

Site X : →

194.18.16.00	0000	11	11	15
194.18.17.00	0001	00	00	16
194.18.18.00	0001	00	01	17
194.18.19.00	0001	00	11	18
194.18.20.00	0001	01	00	19
194.18.21.00	0001	01	01	20
	0001	01	10	21
	0001	01	11	22
	0001	10	00	23
	0001	10	01	24

194.18.16.0/21

- ▶ Notation CIDR : /x , x bits utilisés pour le Net-Id et Sub-Net-Id
 - Exemple : /21. équivaut au masque 255.255.248.0

28

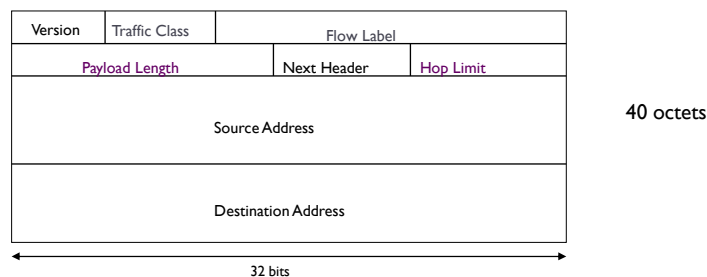
IPv6

► Objectifs

- Etendre l'espace d'adressage IPv4
- Réduire la taille des tables de routage
- Simplifier le protocole
 - router les paquets plus rapidement
 - autoconfiguration
- Fournir une meilleure sécurité (authentification et confidentialité)
- QoS
- Prendre en compte la mobilité (IP Mobile)
- Meilleure gestion du multicast
- A la fois évolutif et compatible avec IPv4

29

Le datagramme IPv6



- Traffic class : QoS pour le trafic (temps-réel, ...), priorité
- Flow label : identificateur du flux par la source, traitement particulier au niveau des routeur (exp : RSVP)
- Payload length : inférieure à 64Ko ou (0 et l'option jumbogram est utilisée (4Go))
- Hop Limit = TTL
- Next header : pointeur sur prochain en-tête (option ou en-tête couche supérieure)
- Avantages
 - Traitement + rapide dans les routeurs
 - Moins de champs, pas de champs de fragmentation (possible à la source), pas de calcul de CRC

30

Les adresses IPv6

- ▶ Codées sur 128 bits = 16 octets
- ▶ ≈ 340 milliards de milliards de milliards de milliards d'@...
- ▶ Notation hexadécimale
 - ▶ 8 groupes de 4 chiffres (8*16 bits)
 - ▶ Exp : 2001:0000:0000:0000:0237:0067:A9CB:12EC
 - ▶ Notation abrégée et simplifications :
 - ▶ 2001:0000:0000:0000:237:67:A9CB:12EC
 - ▶ 2001::237:67:A9CB:12EC
 - ▶ Adresse réseau 2001:CDAB:9862:A435::/64
 - ▶ Mapping IPv4 : 196.22.16.134 → ::FFFF:196.22.16.134



31

Plan

- ▶ Réseau Internet
- ▶ Protocole IP
 - ▶ Datagramme IP
 - ▶ Fragmentation et réassemblage
- ▶ Adressage IP
 - ▶ CIDR
 - ▶ Masques
- ▶ **Routage IP**
 - ▶ **Principe**
 - ▶ **Routage statique**
 - ▶ **Routage dynamique**
- ▶ Protocoles ARP et ICMP
- ▶ Routage dynamique



32

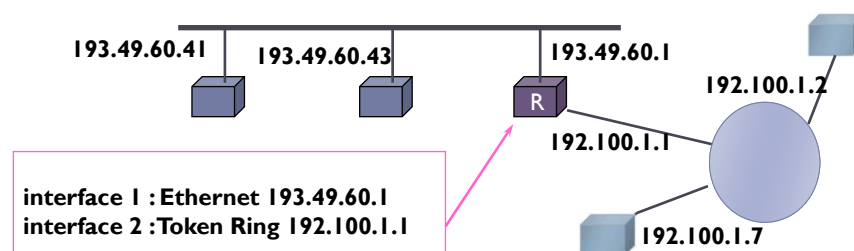
Le routage IP

► Routage

- traitement consistant à choisir l'interface sur laquelle transmettre un paquet

► Routeurs

- Équipements spécialisés chargé de ce choix
- Permettent de connecter un réseau à un ou plusieurs autres réseaux
- **Gateway** : équipement interconnectant dans Internet au moins 2 réseaux physiques. Transfert les paquets d'un réseau à un autre



33

Les types de routage IP

► Le routage direct

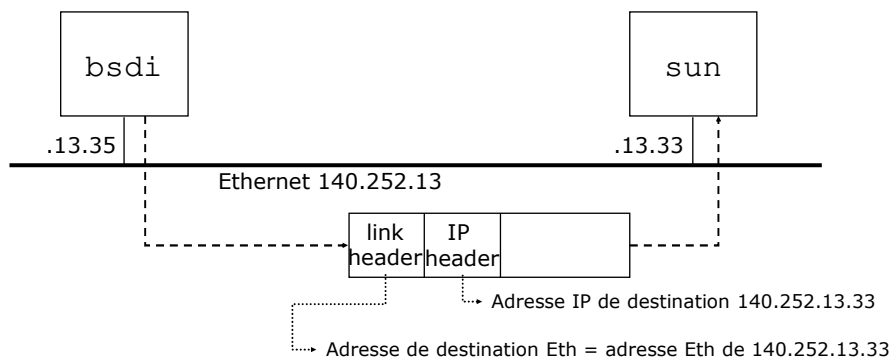
- Transmission d'un paquet IP entre 2 machines (machine, routeur) appartenant au même réseau physique (*netids* identiques). Pas de gateway impliquée

► Le routage indirect

- Le datagramme doit être acheminé sur un autre réseau, il faut déterminer le routeur approprié pour l'acheminement

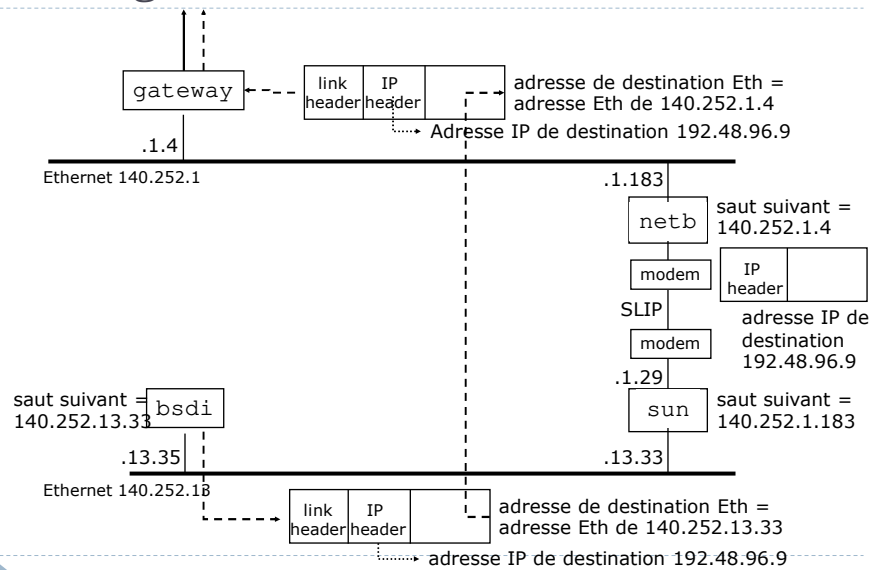
34

Routage direct



35

Routage indirect



36

La table de routage

► Table de routage

- Une table de routage se résume par trois informations
 - Pour aller vers telle **destination**, il faut sortir par telle **voie**, avec tel **coût**
- **Destination** : adresse de machine complète (flag H) ou adresse réseau (*hostid* à 0)
- **Voie**
 - Spécification d'une interface réseau : interface sur laquelle transmettre le paquet
 - Adresse IP d'un routeur de saut suivant (*next hop routeur*)
- **Coût (métrique)**
 - Nombre de routeurs à traverser pour atteindre la destination souhaitée
 - Ou autre métrique : Délai, etc.

37

Table de routage

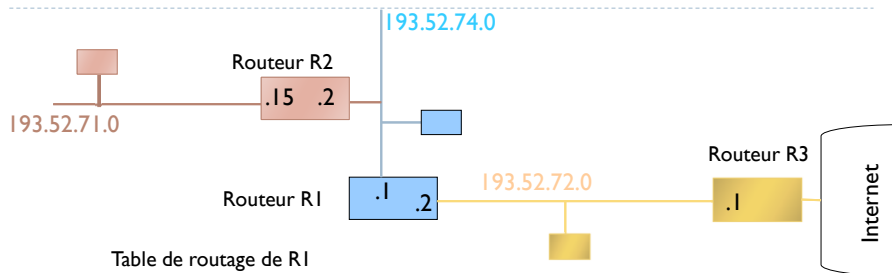


Table de routage de R1

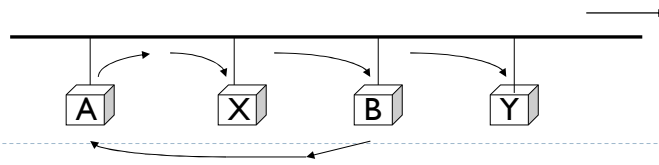
Destination	Masque	Prochain Saut	Voie
193.52.72.0	255.255.255.0	- (direct)	Eth 2
193.52.71.0	255.255.255.0	193.52.74.2 (R2)	Eth 1
193.52.74.0	255.255.255.0	- (direct)	Eth 1
0.0.0.0	0.0.0.0	193.52.72.1 (R3)	Eth 2

Remarque : Recherche basée sur le « best Match » ou « Longest match prefix » ! : si plusieurs entrées conviennent, on choisit celle dont l'adresse de destination possède le plus de bits identiques avec celle du paquet.

38

Le protocole ARP (Address Resolution Protocol)

- ▶ **Besoin**
 - ▶ Établir le lien entre adresse IP et adresse physique
- ▶ **Rôle**
 - ▶ Fournir à une machine M1 l'adresse physique d'une autre machine M2 située sur le même réseau à partir de l'adresse IP de M2
- ▶ **RFC 826**
- ▶ **La technique**
 - ▶ Diffusion de l'adresse sur le réseau
 - ▶ La machine d'adresse IP A émet en diffusion un message (ARP) contenant l'adresse IP (B)
 - ▶ Les machines non concernées ne répondent pas



39

Le protocole ARP (Address Resolution Protocol)

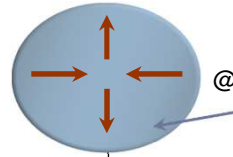
- ▶ **Le message ARP**
 - ▶ La requête ARP est véhiculée dans un message protocolaire lui-même encapsulé dans la trame physique (charge utile)
- ▶ **Table ARP**
 - ▶ Pour éviter de répéter une séquence ARP à chaque émission d'un paquet IP, les stations disposent de tables où elles mémorisent la correspondance entre les adresses IP et les adresses physiques
 - ▶ Mise à jour périodique
 - ▶ Pour afficher la table ARP : `arp -a`

40

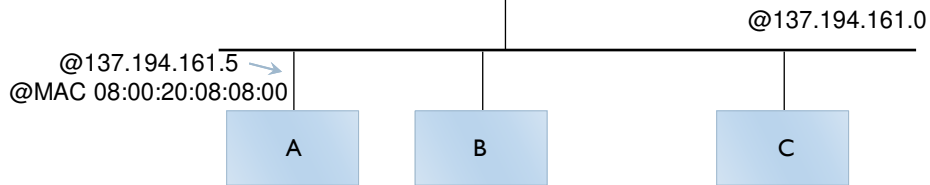
Le protocole ARP (Address Resolution Protocol)

Paquet IP à router

Données
@exp x.x.x.x
@dest 137.194.161.5



@IP 137.194.161.1
@MAC 08:00:20:12:34:56

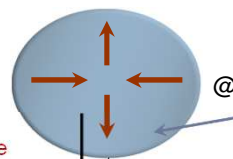


41

Le protocole ARP (Address Resolution Protocol)

Paquet IP à router

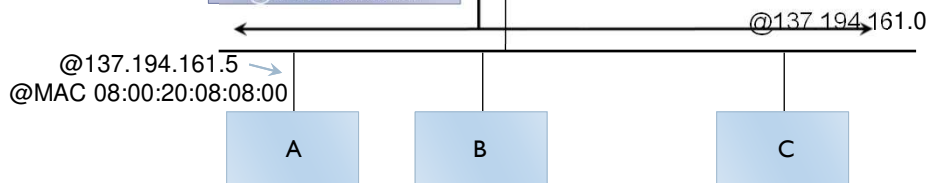
Données
@exp x.x.x.x
@dest 137.194.161.5



@IP 137.194.161.1
@MAC 08:00:20:12:34:56

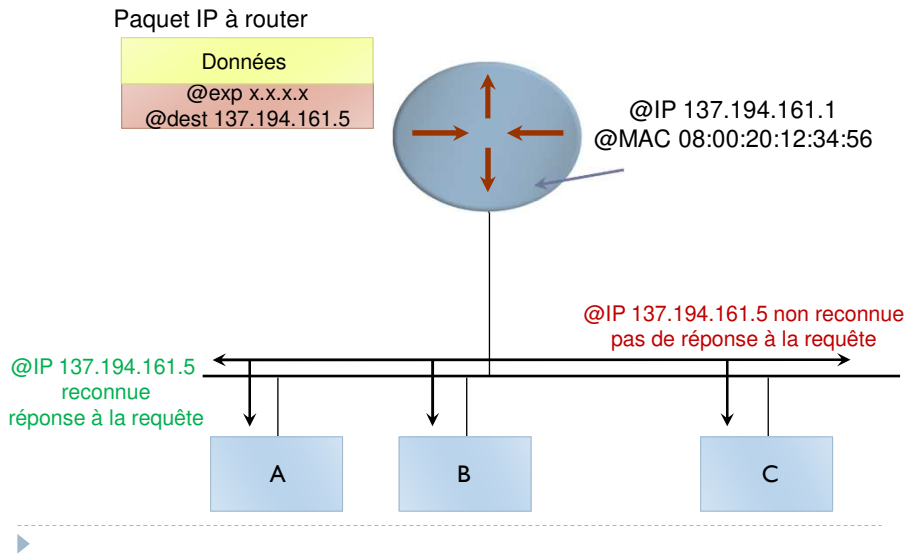
Diffusion de la trame
ARP requête

Req @IP 137.194.161.5
@exp 08:00:20:12:34:56
@dest ff:ff:ff:ff:ff:ff



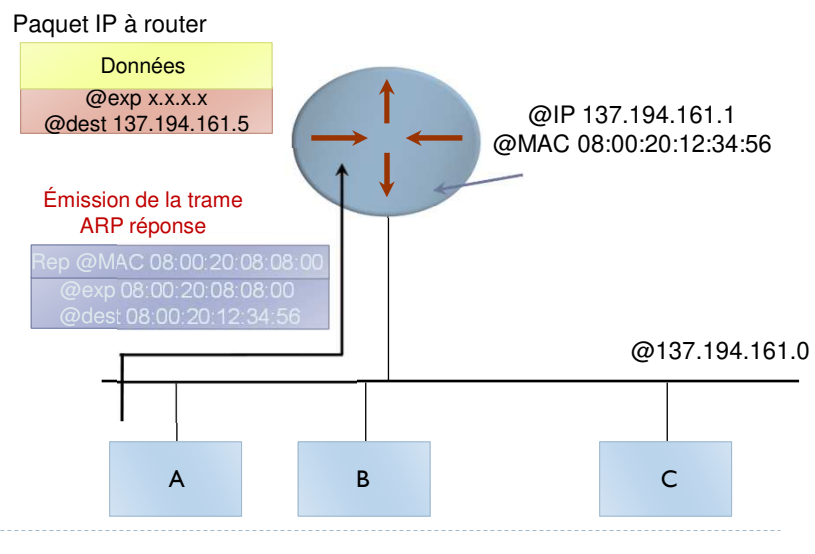
42

Le protocole ARP (Address Resolution Protocol)



43

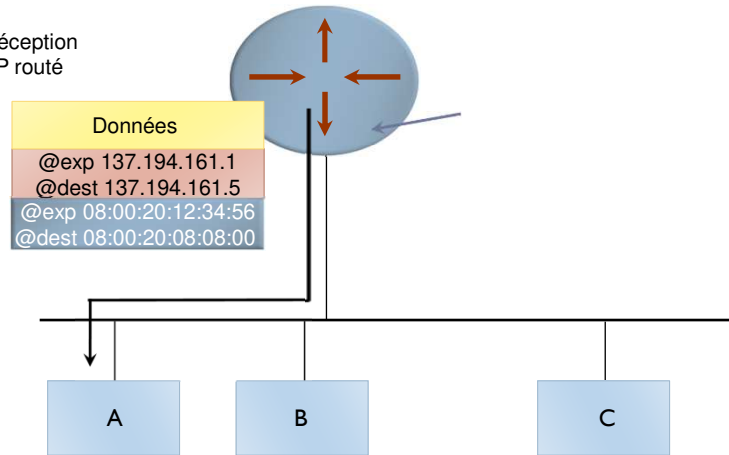
Le protocole ARP (Address Resolution Protocol)



44

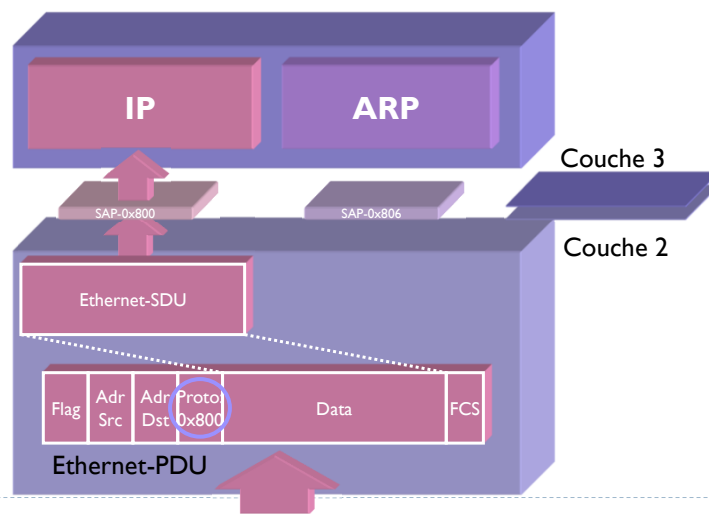
Le protocole ARP (Address Resolution Protocol)

Émission et réception
du paquet IP routé



45

Le protocole ARP



46

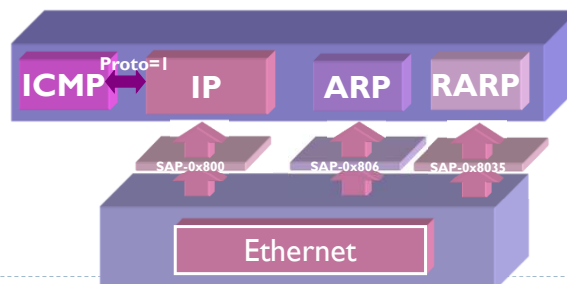
ICMP (Internet Control Message Protocol)

- ▶ **Objectif**
 - ▶ Protocole de contrôle
 - ▶ Si un imprévu se produit sur le réseau, l'événement est rapporté par le protocole ICMP
 - ▶ Tester le réseau (activité des machines)
- ▶ **Deux types de paquets**
 - ▶ Messages d'indication d'erreur
 - ▶ Messages de demande d'information
- ▶ **RFC 792**

47

ICMP

- ▶ **Les messages ICMP sont transportés (encapsulés) dans des paquets IP**
 - ▶ Champs protocole I
- ▶ Le paquet ICMP est envoyé à l'émetteur du datagramme initial
- ▶ Une erreur engendrée par un message ICMP ne peut donner naissance à un autre message ICMP (éviter l'effet cumulatif).



48

Quelques messages ICMP

► Format du paquet ICMP

0	7	15	31
Type	Code	Checksum	
données complémentaires : dépend du type			

► Destination inaccessible

- Type = 3
- Le datagramme ne peut atteindre sa destination
- Le routeur ou la station qui détecte la faute émet un paquet ICMP
- Code 3 => **fragmentation nécessaire, mais DF=1**

► Temps expiré

- Type = 11
 - Durée de vie expirée
 - Le message est émis par un routeur lorsqu'un datagramme est détruit car sa durée de vie = 0
- Exp : utilisation dans traceroute



49

Quelques messages ICMP

► Demande/réponse d'écho

- Commande Ping (Unix)
- La commande émet un paquet ICMP demande écho (type = 8, code = 0) et reçoit, si la machine distante est active, un paquet ICMP réponse d'écho (type = 0, code = 0)

► Demande/réponse de netmask

- Une station désirant se configurer peut envoyer un paquet ICMP pour demander la valeur du netmask du sous-réseau (demande de masque, type = 17, code = 0)
- Un routeur ou une station configurée répond en envoyant un paquet ICMP contenant le netmask (type = 18, code = 0)



50

Protocoles de routage

► Définition

- Un protocole de routage est un mécanisme de mise à jour des tables de routage

► Construction de tables

- Manuelle - utilisation d'outils d'administration
 - Routage statique
- Automatique (protocoles de routage)
 - Routage dynamique - ou adaptatif
 - Remplissage dynamique des tables de routage
 - Apprentissage automatique de la topologie (accessibilité, reachability)
 - Adaptation automatique dans le cas de changement de topologie
 - Indispensable dès que la topologie devient complexe



51

Protocoles de routage

► Routage statique - non adaptatif

- L'administrateur réseau introduit son plan de routage directement dans le routeur
- Mise en œuvre facile
- Commandes
 - **Ifconfig** interface ip-adresse : configuration d'interface
 - Ifconfig eth0 137.194.192.31 netmask 255.255.255.0
 - **route add** [-net] [-host] target : ajouter une route à la table de routage
 - **route del** target : enlever une route à une table de routage
- Inconvénients
 - Erreurs : boucles de routage, routages aberrants
 - Convient à des sites de taille modeste



52

Protocoles de routage

- ▶ Pas de point central dans l'Internet
 - ▶ Assurer une connectivité totale est un problème complexe
 - ▶ Routage Hiérarchique
 - ▶ Systèmes Autonomes (AS)
 - L'Internet est constitué d'un ensemble de systèmes autonomes comportant différents réseaux et routeurs
 - Un système autonome est un domaine de routage sous la responsabilité d'une autorité unique (ISP (Internet Service Provider), société, etc.)
 - Un système autonome est identifié par un numéro
 - whois : base publique qui permet d'afficher l'ensemble des données relatives à un domaine (propriétaire, contacts, statut, prestataires, ...)



53

Protocoles de routage

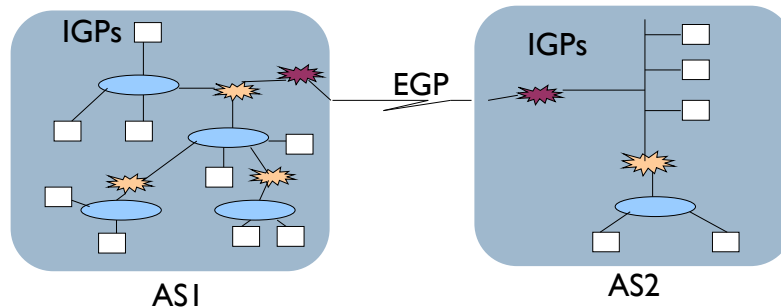
- ▶ Systèmes Autonomes (AS)
 - ▶ **Stub AS** : petite organisation, une seule connexion vers d'autres AS, un seul routeur de sortie (par défaut)
 - ▶ **Multihomed AS** : grande compagnie (sans trafic de transit), plusieurs connexions vers d'autres AS
 - ▶ **Transit AS** : fournisseur de service, inter-reliant plusieurs ISPs



54

Protocoles de routage

- Protocoles de routage internes utilisés dans chaque SA : IGP (Interior Gateway Protocol)
 - RIP, RIP-2, OSPF, EIGRP
 - Les routeurs d'un même AS utilisent le même algo de routage)
- Protocoles de routage externes utilisés entre les AS : EGP (Exterior Gateway Protocol)
 - BGP



- ▶ Les IGP n'échangent que les tables de routage internes au AS
- ▶ Les «exterior gateways» permettent de découvrir les réseaux externes au AS

55

Un protocole de routage interne RIP

- ▶ Le protocole RIP (Routing Information Protocol)
- ▶ RIPv1 (rfc 1058 – 06/88), RIPv2 (rfc 1723 – 04/94)
 - ▶ Basé sur l'algorithme vecteur de distance
 - ▶ Adapté à des réseaux de petite taille
 - ▶ Temps de convergence qui peut atteindre quelques minutes
 - ▶ La période d'échange des tables est de 30 secondes
 - ▶ La période pour décider qu'une route n'est plus valide est de 180 secondes ($\infty = 16$)
 - ▶ La métrique est le nombre de sauts (de routeurs, max = 15 sauts)
 - ▶ Utilise le protocole UDP pour transporter ses données (port 520)

56

Le protocole RIP

- ▶ **Commande**

- ▶ 1 : requête
 - ▶ Demande d'information sur la table de routage d'un routeur distant
 - ▶ Utilisée pour une machine qui démarre (sans attendre la prochaine diffusion des tables)
- ▶ 2 : réponse
 - ▶ Message contenant les tables de routage
 - ▶ Son émission peut être due à
 - Réponse à un message requête
 - Envoi périodique
 - Mise à jour d'une table



57

Le protocole OSPF (Open shortest Path First)

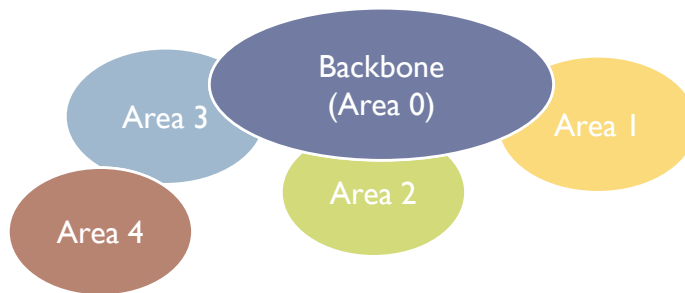
- ▶ Développé par l'IETF et défini dans les RFC 1247, 1583, 2178
- ▶ De type Link State
- ▶ Introduit deux niveaux hiérarchiques
 - ▶ Pour limiter la propagation des modifications
 - ▶ Le AS est divisé en "routing area" (zone de routage)
 - ▶ Une area spécifique est définie : appelée OSPF backbone
 - ▶ Les LSP (LSA) sont broadcastés à l'intérieur de la routing area



58

Le protocole OSPF

- ▶ Le routage inter-area est assuré par des routeurs périphériques
- ▶ Les LSA résumant l'information d'accessibilité dans l'aire globale sont générés par ces routeurs et distribués en premier dans le backbone puis dans les aires satellites



59

Le protocole OSPF

- ▶ **Les messages**
 - ▶ Deux types principaux
- ▶ **LSA**
 - ▶ Diffusés pour créer une vue topologique
 - ▶ Périodiquement (T=30 min) ou suite à changement de topologie
- ▶ **Hello**
 - ▶ Les voisins directs échangent des messages Hello pour se découvrir mutuellement (10 s)
 - ▶ Un routeur est considéré mort au bout de 40s

60