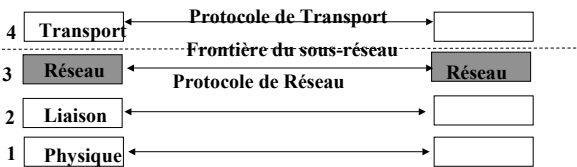


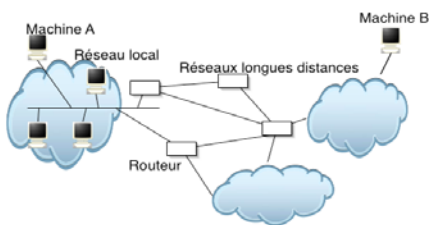
(Chapitre - 6) La couche réseau



Plan du chapitre 6

- Fonctions de la couche réseau
- Les techniques de routage
- Un exemple de routage distribué: le routage dans IP

Fonctions de la couche réseau



FONCTIONS DE LA COUCHE RÉSEAU

- Interface du sous-réseau de communication
- Assurer le routage : déterminer le chemin (= la route) des paquets à travers le réseau, de leur source vers leur destination :
2 cas :
 - Source et destination sont dans le même sous-réseau de communication
 - Source et destination sont dans des sous-réseaux hétérogènes
- Prendre en compte les problèmes d'interconnexion de réseaux hétérogènes
- Assurer le contrôle de congestion du sous-réseau => éviter les embouteillages !

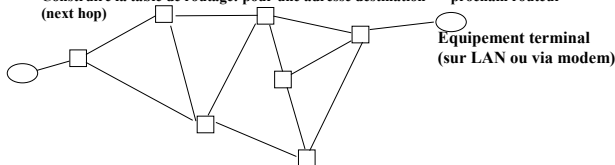
Le routage : principe

Problématique :

- Différentes routes possibles : comment décider de la route à prendre ?
- Chaque routeur doit décider sur quelle sortie envoyer les paquets : quel est le prochain routeur à qui envoyer le paquet ?

Deux fonctions distinctes pour traiter le routage :

- Infos : adresse destination du paquet et réseau voisin où émettre ce paquet
- Construire la table de routage: pour une adresse destination => prochain routeur (next hop)

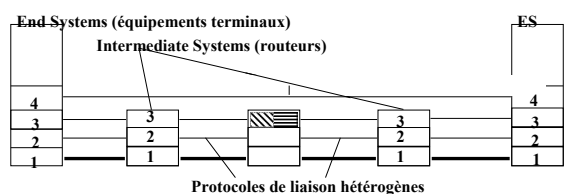


Routeurs : (seulement jusqu'à la couche réseau)

Chaque nœud a un certain nombre de canaux en entrée et en sortie

Architecture Générale

- Les routeurs peuvent servir à interconnecter des réseaux hétérogènes sous TCP/IP grâce à des interfaces spécifiques : exemple : interconnection de réseau Ethernet et Token-Ring via une liaison WAN VPN IP
- Il existe aussi des équipements qui s'arrêtent à la couche 2 pour réseaux hétérogènes : les ponts



Types de service

2 types de service :

- Orienté connexion :
 - » Une connexion de niveau réseau s'appelle circuit virtuel.
 - » Le chemin associé au circuit virtuel dans le réseau est alloué à l'établissement de la connexion. La décision de routage n'est prise qu'au cours de la phase d'établissement de la connexion.
 - » Tous les paquets circulant sur le même circuit virtuel empruntent le même chemin.
Exemple : protocole ATM (Asynchronous Transfer Mode)
- Orienté sans connexion (unité de données : le datagramme)
 - » Chaque datagramme est envoyé indépendamment des autres. Chaque paquet est routé séparément et des paquets successifs peuvent donc emprunter un chemin différent dans le réseau.
 - » Il peut donc y avoir déséquencement des paquets
Exemple: le protocole IP (Internet Protocol)

Intérêt / inconvénient des 2 types de services

- Avec connexion :
 - + pas de déséquencement
 - + ressources réservées au départ => garantie de qualité de service et pas de problème de congestion ultérieure
 - - ressources réservées inutilement
 - - temps d'acheminement plus long (temps d'établissement de la connexion au départ) => problème pour le temps réel
 - - délicat à gérer en cas de la défaillance d'un routeur
- Sans connexion :
 - + pas de ressources réservées inutilement
 - + défaillance d'un routeur => pertes seulement des paquets, adaptation rapide
 - - temps d'acheminement moins rapide
 - - congestion résolue difficilement
 - - qualité de service difficile à garantir
 - - calcul du routage à chaque paquet

Le routage : classification des algorithmes

- Objectifs :
 - Exactitude, simplicité, justice (équité vis-à-vis des différents utilisateurs), optimisation, souplesse, sécurité et stabilité.
- Centralisés, décentralisés
 - Centralisés : la route est calculée par un nœud particulier
 - Décentralisés : chaque nœud calcule la route
- Statique ou dynamique
 - Statique : la route n'est changée que lorsqu'il y a un changement dans la topologie du réseau => il faut alors changer « à la main » les routes
 - Dynamique : le choix de la route s'adapte plus ou moins rapidement à des variations de la charge et de pannes de liens réseau et de nœuds machine

Informations pour le routage

- Local ou global
 - Les informations prise en compte pour calculer le chemin sont :
 - » globales au réseau : connaissance de l'ensemble du réseau
 - » ou local au nœud: connaissance partielle du réseau
- Nombres d'informations prises en compte
 - La plupart des algorithmes associent un coût à un chemin (on dit métrique).
 - Ce coût peut faire intervenir plus ou moins de paramètres : temps de propagation, débit, charge moyenne mesurée etc... mais aussi politique (interdiction de passer par certaines routes).
- Objectifs privilégiés par le routage
 - Plus court chemin
 - Minimisation du temps moyen d'attente global
 - Sécurité

Dans Internet: Les adresses

- IPv4 : sur 4 octets (IPv6 sur 16 octets)
- 2 parties distinctes: machine et réseau local
 - » On a une adresse Internet par réseau local
- Différentes classes suivant les besoins (définies par les 4 premiers bits du 1er octet):
 - » classe A: (0) partie machines: 3 derniers octets (0 à 127)
 - » classe B: (10) partie machines: 2 derniers octets (128 à 191)
 - » classe C: (110) partie machines: le dernier octet (192 à 223)
 - » Classe D: (1110) Multicast : message destiné à un sous-ensemble de réseau (224 à 239)
 - » Classe E: (11110) réseaux expérimentaux, pas utilisés en environnements de production (240 à 247)
- Exemple:
 - » 195.0.0.1 et 195.0.0.254 : 2 adresses de classe C de deux machines appartenant au même réseau local (partie machine à 0 interdit ainsi que 255)
- Adresses particulières:
 - 127: boucle locale 127.0.0.0 à 127.255.255.255
 - 0.0.0.0 : Utilisé dans protocole d'apprentissage d'adresse

- Adresses de broadcast:

- Pour s'adresser à toutes les machines d'un réseau local
- Partie machine à 1
- Ex: 192.0.0.255 pour un masque de 255.255.255.0 (ou en notation CIDR 192.0.0.0 / 24 voir l'explication sur le transparent suivant)
- Ex: 192.0.0.127 pour un masque de 255.255.255.192 (ou 192.0.0.64 / 26)
- 255.255.255.255 : broadcast sur le réseau sur lequel on est
- Niveau Ethernet : FF:FF:FF:FF:FF:FF (en Hexa)

- Masque de réseau (Netmask) :

- Détermine la partie réseau de l'adresse : bit à 1 sur la partie réseau (ET logique bit à bit pour déterminer la partie réseau)
- Ex: Classe C: Netmask par défaut = 255.255.255.0
En notation CIDR 192.0.0.64 / 26 : Netmask = 255.255.255.192
- Possibilité d'avoir plusieurs plages d'adresses réseau à partir d'une seule adresse de classe donnée par modification du netmask (on parle de sous-réseaux ou subnets)
- Interdiction de prendre pour les bits du sous-réseau que des champs à 1 ou à 0
- Sinon confusion avec le broadcast et le début de plage du sous réseau:
 - » 192.0.0.255 ?? : Broadcast sur 192.0.0 ou broadcast sur sous-réseau 192.0.0.192 ?

• Aujourd'hui :

- Routage de domaine Internet sans classe (CIDR) => extension des classes pour des besoins particuliers (exemple FAI Internet) et économie des adresses
- Utilisation d'un masque de super-réseau : ce masque confisque des bits à l'identificateur de réseau
- Adresse réseau / Nombre de bits de la partie réseau
Ex: Un FAI se voit attribuer les adresses de 204.21.128.0 à 204.21.255.255 : les adresses réseau sont identiques jusqu'au 17ième bit à partir de la gauche => le masque réseau vaudra 255.255.128.0 qui équivaut à 204.21.128.0/17
- Cette notation se retrouve aussi à présent pour identifier des sous-réseaux
Ex: 192.0.0.64 / 26

• Réseaux privés

- La RFC 1597 modifiée 1918 réserve quelques plages d'adresses IP aux réseaux privés et non routés sur Internet :
 - » 10.0.0.0 à 10.255.255.255
 - » 172.16.0.0 à 172.31.255.255
 - » 192.168.0.0 à 192.168.255.255

• Bientôt IPv6

- Saturation des adresses IPv4
- Adresses sur 16 octets, permettant d'adresser des teras de périphériques
- Compatible avec IPv4

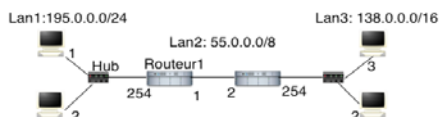
Le routage dans Internet

- Le routage se décide en regardant la partie réseau de l'adresse
- La résolution au niveau machine se fait par un autre protocole (ARP Address resolution protocol) à l'arrivée sur le réseau local
- Pas de correspondance adresse-emplacement géographique jusqu'en 93
- Depuis des efforts sont faits pour simplifier le routage

La décision dans IP du routage:

- Table de routage contient :
 - » Adresse destination (que la partie réseau), netmask, adresse routeur voisin, coût (métrique)
- Parcourir la table de routage à l'arrivée d'un paquet :
 - » Pour chaque ligne de la table de routage (adresse destination, netmask, adresse routeur voisin, coût) faire
 - Si adresse destination du paquet AND netmask = adresse destination alors envoyer le paquet au routeur voisin correspondant

Exemple



• Exemple de tables de routage :

– Routeur 1:

- » 195.0.0.0 255.255.255.0 direct
- » 55.0.0.0 255.0.0.0 direct
- » 138.0.0.0 255.255.0.0 55.0.0.2

– Machine d'adresse 195.0.0.1:

- » 195.0.0.0 255.255.255.0 direct
- » 55.0.0.0 255.0.0.0 195.0.0.254
- » 138.0.0.0 255.255.0.0 195.0.0.254

• Que se passe-t-il lors d'un ping de 195.0.0.1 vers 138.0.0.2 ?

Internet : un routage hiérarchique

- Problème si réseau important => table de routage trop importante
- Solution :
 - Donc regroupement par zone des routeurs
 - Malheureusement adresse Internet ne donne pas la zone
- Chaque table de routage contient le moyen d'accéder
 - aux routeurs de sa zone
 - à au moins un routeur de niveau supérieur (ligne de la table de routage particulière « default »)
 - Au sommet les routeurs possèdent des tables de routage quasi-complètes
- On peut faire autant de niveaux que l'on veut
- Attention se fait au détriment du choix du chemin optimal
- Dans Internet trois types de routage suivant à quel niveau se trouve le routeur

Organisation dans Internet

• Système autonome:

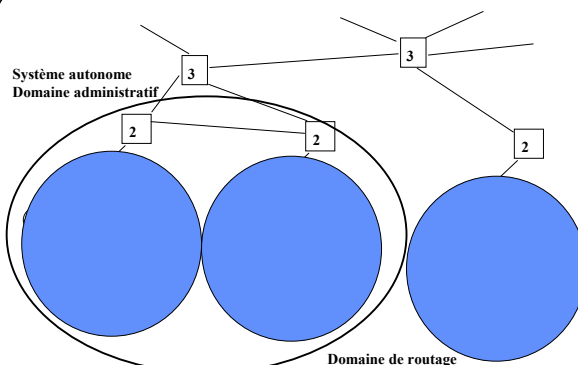
- Géré par une autorité administrative
- Décide des protocoles de routage -> domaine de routage
- Attribue adresses IP

• 2 types pour les systèmes autonomes

- Niveau 1: Réseau à une échelle petite/moyenne jusqu'aux équipements terminaux
 - Ex: Université.
 - Beaucoup de variations, peu d'adresse à connaître => dynamique
- Niveau 2: Au dessus: Fournisseurs d'accès, routeurs inter universitaires (dans RENATER)
 - Une ville, une région
 - Peu de variation, moins de chemin, mais plus d'adresses => plus statique

• 3ème type routeur Inter-domaine

- un pays et inter pays



Protocoles associés à IP

• Dans les systèmes autonomes : protocole interne (IGP Interior Gateway Protocol)

– Routeurs/stations:

- Topologie très variable -> Dynamique
- Information Locale (calcul léger)
- Type Distant vector : vision partielle du réseau, protocole RIP (Routing Internet Protocol)

– Inter-routeurs:

- Topologie plutôt fixe mais plus d'adresses à connaître
- Diffuser ces adresses aux autres routeurs de même niveau
- Métrique: Débit, charge ...
- Information locale : protocoles RIP, IGRP (Cisco)
- Information globale (plus stable): Type état de lien, protocole OSPF (Open Shortest Path First)

• Inter domaine: protocole externe (EGP Exterior Gateway Protocol)

– Topologie fixe, Critère aussi politique : protocole BGP (Border Gateway Protocol)

Un exemple de protocole de routage RIP

- Type vecteur de distance : les routeurs n'ont pas une vue globale du réseau, ils s'échangent les distances qu'ils connaissent
- Un des premiers protocoles utilisés dans Internet pour le routage interne au domaine, toujours très utilisé (RIP2)
- Inter-routeur et routeur à équipement terminal
- Dynamique
 - Adaptation aux modifications du réseau
- Distribué et local:
 - les routeurs n'ont qu'une vision locale du réseau
 - Echange entre routeurs voisins du contenu de leur table de routage

Table de routage

- adresse destination / masque réseau (adr.dest.) / adresse routeur voisin / Coût
- Pas de mémorisation des autres chemins possibles
- Le coût: le nombre de réseaux traversés (sauts) pour arriver à destination (1 par routeur)
- RIP détermine le chemin à mettre dans la table de routage en fonction de ce coût
- On peut effectuer une hiérarchie des routeurs en donnant une adresse de routeur par défaut dans les tables de routages
- Un routeur ne possède ainsi dans sa table que les adresses de son niveau

Message particulier pour information de routage (RIP)

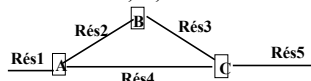
- La table de routage est modifiée en fonction des informations reçues des routeurs voisins
- Envoyé par des démons de routage RIP (routeurs ou aussi in.routed sous Solaris)
- Un paquet RIP contient une liste (adresse réseau, coût)
- Les paquets sont émis en broadcast
- Utilise UDP

Algorithme de RIP :

- Chaque routeur envoie à tous ses voisins périodiquement (30s) le contenu de sa table de routage: liste (@destination, cout)
- A la réception d'un paquet RIP arrivant d'un routeur voisin d'adresse @routeur pour chaque destination (@destination, cout) contenue dans la paquet faire
 - » Si @destination inconnue
 - rajouter dans la table de routage (@destination, @routeur, cout +1)
 - armer timer
 - » Si @destination connue (apparaît dans la table (@destination, @routeur_voisin, cout_présent))
 - Si @routeur_voisin = @routeur alors
 - changer table (@destination, @routeur, cout + 1)
 - relancer timer
 - Si @routeur_voisin ≠ @routeur et cout+ 1 < cout_présent alors
 - changer table
 - relancer timer
- Si sonnerie d'un timer (2mn 30) supprimer de la table la destination correspondante

- A l'initialisation des routeurs les tables de routage sont initialisées avec l'ensemble des adresses des réseaux auxquels le routeur est connecté.
- Le coût minimum (1) est alors associé à ces adresses destinations.
- Pour les équipements terminaux seule la partie réception de l'algorithme est effectuée

Exemple: Soit les réseaux Rés1 à Rés5 interconnectés par les routeurs A, B, C



• On suppose que l'algorithme de routage de IP a été activé sur les noeuds de ce réseau. Le coût associé à un chemin est le nombre de liens à traverser.

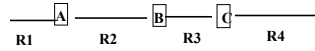
Table de routage de A: Adresse dest.	Voisin	coût
Rés1	direct	1
Rés2	direct	1
Rés3	B	2
Rés4	direct	1
Rés5	C	2

• Paquets RIP envoyés par A à B et C

- Pour arriver à un état stable il faut que les informations se propagent de proche en proche
- Le temps de stabilisation dépend de la largeur du réseau : nombre de nœuds * 30s
- Au départ les tables de routage ne contiennent que les réseaux sur lesquels sont les routeurs (ils connaissent leurs propres adresses Internet)
- Adaptation dynamique aux modifications du réseau :
 - Panne d'une machine ou coupure de lien => changement de route
 - Attention la convergence n'est pas instantanée.
- Exemple: Le lien entre A et C vient d'être coupé, expliquez ce qui va se passer et donnez les nouvelles tables de routages.

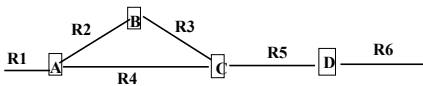
Problème de la valeur infinie

- L'algorithme de RIP tel qu'il a été donné auparavant peut être mis en défaut.
- Regardez ce qui se passe sur le réseau suivant dans le cas où la ligne de A vers B est coupée.



- Horizon coupé:
 - Les paquets RIP ne contiennent pas toute la table de routage des nœuds. Ils ne contiennent que les infos qui ont été apprises par la ligne sur laquelle ils sont émis.

- L'algorithme peut aussi être mis en défaut dans le cas de boucle dans le réseau
- Exemple :

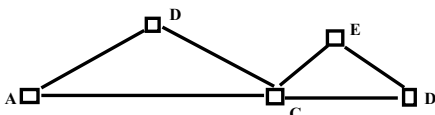


- Si la ligne entre C et D est coupée, un scénario possible :
 - C élimine de sa table de routage R6 (plus d'info RIP de D)
 - Puis A élimine de sa table de routage R6 car C ne lui envoie plus d'info sur R6 .
 - B n'a pas encore éliminé R6 de sa table de routage (timer non synchronisé)
 - B envoie à A qu'il peut accéder à R6 avec un coût de 3
 - A va donc envoyer à C qu'il peut accéder à R6 avec un coût de 4
 - ça tourne en rond en augmentant de 1 à chaque coup. La distance de A et B et C vers R6 va augmenter doucement jusqu'à l'infini.

- Le problème survient dès que le réseau possède des boucles
- Le fait de limiter l'infini à un entier relativement petit limite les dégâts. Mais il doit être supérieure au nombre maximum de saut dans le réseau complet. (RIP : 16)
- Pour remédier complètement au problème il faudrait avoir une vision globale du réseau
- Pour améliorer le protocole deux techniques supplémentaires:
 - Retenue des chemins:
 - » Dans le cas où un routeur supprime de sa table une destination Pendant une durée transitoire (le temps que le problème est fait le tour de la boucle éventuelle), un routeur s'interdit de prendre en compte une route pour cette destination
 - » Après la durée transitoire on reprend l'algorithme classique
 - Route empoisonnée
 - » Dans le cas précédent si la boucle est trop grande, ça ne marche pas si l'on limite l'état transitoire
 - » Le routeur mémorise le dernier coût pour une destination, si le prochain coût (après élimination) est largement supérieur à celui mémorisé, il l'ignore

Exercice

- On rajoute une station E au réseau précédent comme indiqué sur le dessin ci dessous.
- Que va-t-il se passer ?
- Faut-il intervenir sur chaque machine ?



Routage intra-domaine entre routeurs de niveau 2

- Type « link state » (Etat des liens)
- OSPF: Open Shortest Path First
 - Dynamique : réagit au changement du réseau
 - Métrique variable: nombre de saut, délais, charge des routeurs
 - » Répartition de charge
 - Global et distribué: Chaque routeur possède une topologie complète du réseau.
- Chaque routeur possède une structure de données:
 - graphe orienté + poids sur les arcs (métrique)
 - Chaque routeur calcule les plus courts chemins de lui vers tous les autres

- **Pour construire ce graphe différents types de paquets sont émis régulièrement par chaque routeur vers ses voisins:**

- Hello: apparition d'un nouveau routeur
- Mise à jour des liens: envoie l'état des liens que le routeur connaît
- Acquittement
- Demande d'état de lien
- Description de lien

- **Complexe car il est impératif que tous les routeurs aient la même vision du réseau**