

Cours de réseaux

M1 Informatique
Faculté Jean Perrin



Plan du cours

Partie 1 : Introduction

Partie 2 : Couche physique

Partie 3 : Couche liaison des données

Partie 4 : Couche Réseau / IPv4

Partie 5 : Couche Réseau / Routage

Partie 6 : Couche Réseau / IPv4, IPv6

Partie 7 : Couche transport : TCP et UDP

Partie 8 : Couche application

Partie 9 : Couche application / Etude de protocoles

Partie 10 : Notions d'attaques et de sécurité

Partie 5

Couche réseau / Routage

Vous êtes ici

Modèle OSI

7	Application
6	Présentation
5	Session
4	Transport
3	Réseau ●
2	Liaison
1	Physique

TCP/IP

<i>Applications</i> <i>Services Internet</i>
<i>Transport (TCP)</i>
<i>Internet (IP)</i> ●
<i>Accès au Réseau</i>

Le routage, c'est quoi ?

Le **routage** est l'élément fondamental sur lequel est basé la couche réseau. Il permet d'envoyer un message en dehors du réseau local en déterminant le(s) chemin(s) que le message devra emprunter.

Détermine une logique d'acheminement des paquets entre les réseaux physiques.

Le routage, c'est basé sur quoi ?

Le **routage** rassemble les techniques d'algorithmique distribuée permettant de transférer les paquets de proche en proche, ainsi que de maintenir à jour, en fonction de l'évolution réelle de la topologie du réseau, les informations permettant de réaliser ce transfert de manière optimale.

Notion de réseau commuté

Au delà du réseau local, les informations devront passer par un **réseau commuté**.

Il s'agit d'un réseau **partiellement** maillé partagé par plusieurs périphériques. Chaque périphérique peut atteindre n'importe quel autre.

Notion de réseau commuté

2 types de réseaux commutés

Réseaux à commutation de circuits

Réseaux à commutation de paquets

Réseau à commutation de circuits

Un chemin (circuit) est « construit » entre l'émetteur et le destinataire (en se basant sur les liaisons existantes du réseau commuté).

Il s'agit d'un circuit temporaire, libéré lorsque la communication prend fin.

Exemples :

RTC : réseau téléphonique commuté

ATM

Réseau à commutation de circuits

3 phases :

- **Établissement de la connexion** : créée de proche en proche en demandant la connexion au nœud suivant.
- **Transfert de données** : les données sont envoyées comme si émetteur et récepteur étaient reliés directement.
- **Déconnexion** : on libère chaque nœud de proche en proche.

Réseau à commutation de circuits

Si le réseau est chargé, nécessite un grand nombre de canaux sur les liaisons entre les nœuds.

Pour une utilisation optimale (rentable) du réseau, chaque circuit doit être pleinement utilisé lors d'une communication (pas de « blanc »).

Le calcul des délais de communications doivent inclure les délais de connexion/déconnexion.

Réseau à commutation de circuits

Constat

Les réseaux à commutation de circuits sont adaptés pour la transmission de la voix mais pas pour la transmission de données.

Pourquoi ?

Réseau à commutation de circuits

Inadaptation pour la transmission de données

La transmission de données n'est en aucun cas continue et contient de nombreux « silences ». Le réseau n'est donc pas utilisé à 100% -> perte d'efficacité (gaspillage).

La commutation de circuit s'effectue à débit constant ce qui contraint les équipements (station, serveurs,...) ayant des capacités différentes .

Vers les réseaux à commutation de paquets

Dans les années 70, étude et développement des réseaux à commutation de paquets pour résoudre le problème de la transmissions numériques sur de grandes distances.

Réseau à commutation de paquets

Principe

La donnée est découpée en blocs d'information auxquels on ajoute des champs de contrôle -> paquets.

Chaque paquet est envoyé indépendamment des autres en passant par les nœuds reliant émetteur et récepteur.

Exemple : TCP/IP

Réseau à commutation de paquets

Les paquets peuvent être acheminés selon 2 modes différents :

- Par « **circuit virtuel** » : établissement d'un chemin virtuel que tous les paquets d'un même message utilisent (séquençement)
- Par **datagramme** : chaque paquet est traité de manière indépendante des autres et empruntent la route la plus adaptée. Ils devront être remis dans le bon ordre à l'arrivée.

Circuit virtuel vs datagramme

L'utilisation de l'un ou l'autre de ces modes implique d'adapter les routeurs mais également le format des paquets.

Exemple :

- Dans le cas du circuit virtuel, les paquets issus d'un même message doivent contenir le numéro de circuit à emprunter.
- Pour les datagrammes, ils doivent contenir les adresses SOURCE et DESTINATION.

L'utilisation du datagramme est plus robuste face aux défaillances ou congestion du réseau mais nécessite des algorithmes plus complexes.

Dans le cas du circuit virtuel, le calcul de la route n'est fait qu'une seule fois.

Réseau à commutation de paquets

D'après le cours précédent, sur quel mode d'acheminement IP s'appuie-t-il ?

Réponse :

Par datagramme : C'est d'ailleurs la raison pour laquelle les paquets d'IP sont souvent appelés **datagrammes**.

Réseau à commutation de paquets

Pour acheminer un paquet, chaque nœud de commutation doit intégrer une fonction de routage : **envoyer le paquet vers le nœud voisin le plus adapté.**

Le but caché est que le paquet arrive le plus rapidement possible.

Il existe diverses méthodes (familles d'algo) implémentant le routage.

Les principales sont :

- Routage centralisé
- Routage pas inondation
- Routage aléatoire
- Routage statique
- Routage adaptatif

Routage centralisé

Le chemin est calculé par un routeur central qui connaît tous les nœuds. Si un nœud est en panne, le routeur central recalcule toutes les tables de routage et renvoie l'information à tous les nœuds.

Performance dépendant de la topologie du réseau.

Peu robuste (panne du routeur central).

Routage par inondation(flooding)

À l'arrivée sur un nœud, le paquet est dupliqué puis envoyé sur tous les nœuds voisins possibles.

Pour éviter la prolifération de paquets :

- Suppression du paquet s'il est déjà passé par un nœud.
- Utilisation d'un (dé)compteur de sauts, qui entraîne la suppression du paquet si il arrive à 0.

Système très efficace et très robuste mais surcharge le réseau.

Utilisé dans les applications militaires.

Routage aléatoire

À l'arrivée sur un nœud, le choix du nœud suivant est fait de manière aléatoire ou en utilisant des calculs de probabilité pour choisir le chemin optimal.

Routage statique

Etude globale du réseau permettant de déterminer « une fois pour toutes » les routes optimales entre les nœuds. A partir d'un nœud, les différentes routes possibles sont décrites dans une table.

Présenté plus en détail par la suite...

Routage adaptatif (dynamique)

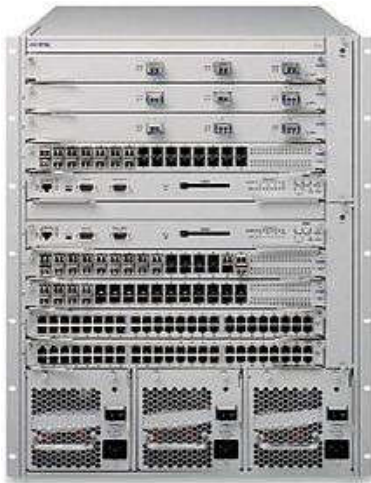
Chaque nœud échange des informations avec les autres de manière à mettre à jour les chemins possibles. La table décrivant les chemins possibles évolue continuellement en fonction de divers paramètres (topologie du réseau, flux, identification de panne, etc)...

Présenté plus en détail par la suite...

Dispositifs au cœur du routage

Routeur: dispositif intermédiaire d'un réseau informatique permettant de faire transiter les paquets d'un (sous)-réseau vers un autre.

Il dispose de plusieurs « interfaces » vers chacun des réseaux qu'il adresse.



Fonctionnement - principes de base

Côté émetteur

L'émetteur désire envoyer un paquet vers un destinataire.

- a. Si le destinataire appartient au même réseau que l'émetteur -> envoi direct.
- b. Sinon l'émetteur envoie son paquet à la passerelle.

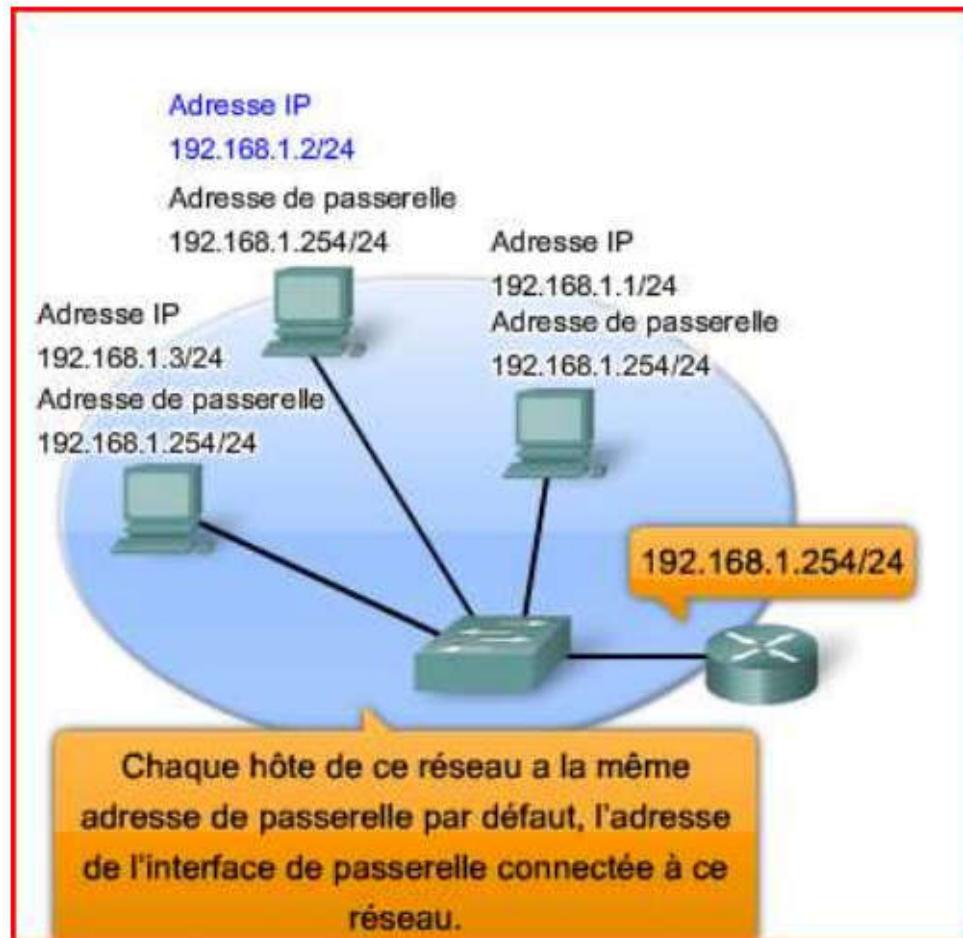
Fonctionnement - principes de base

Configuration nécessaire de l'émetteur

Pour satisfaire a. L'émetteur doit connaître les plages d'adresses de son propre réseau : utilisation de son IP et du masque de son réseau.

Pour satisfaire b. L'émetteur doit connaître l'IP de la passerelle.

Chaque hôte connaît l'IP de passerelle



Commandes **ipconfig** (windows) ou **route** (Windows, unix) permettent d'afficher les masques et IP de la passerelle par défaut.

Fonctionnement - principes de base

Côté passerelle

La passerelle (**gateway**) est un **routeur** et se comporte comme tel.

- a. Si le réseau de destination est connecté directement à la passerelle, le paquet est acheminé directement vers le destinataire.
- b. Sinon le paquet est acheminé vers un routeur qui constitue le routeur de **tronçon suivant**. -> **saut**.

Fonctionnement - principes de base

Côté routeur

L'acheminement du paquet tombe sous la responsabilité du routeur.

- a. Si le réseau de destination est connecté directement au routeur, le paquet est acheminé directement vers le destinataire.
- b. Sinon le paquet est acheminé vers un autre routeur qui constitue le routeur de **tronçon suivant**. -> **saut**.

Fonctionnement - principes de base

Configuration nécessaire des routeurs/passerelles

Pour satisfaire a. Le routeur doit connaître les adresses des réseaux auxquels il est connecté directement.

Pour satisfaire b. Le routeur doit connaître les adresses d'autres routeurs permettant d'atteindre le tronçon suivant.

Mise en œuvre sur les routeurs

Afin de permettre aux routeurs d'adresser les routeurs des tronçons suivants en fonction des réseaux de destination, on va définir sur ceux-ci une **table de routage**.

Table de routage : table de correspondance entre des ID réseaux et la passerelle suivante (routeur) qui lui est associée.

Une table de routage indique quelle passerelle utiliser pour joindre un réseau

Table de routage

Exemple d'une partie de table de routage

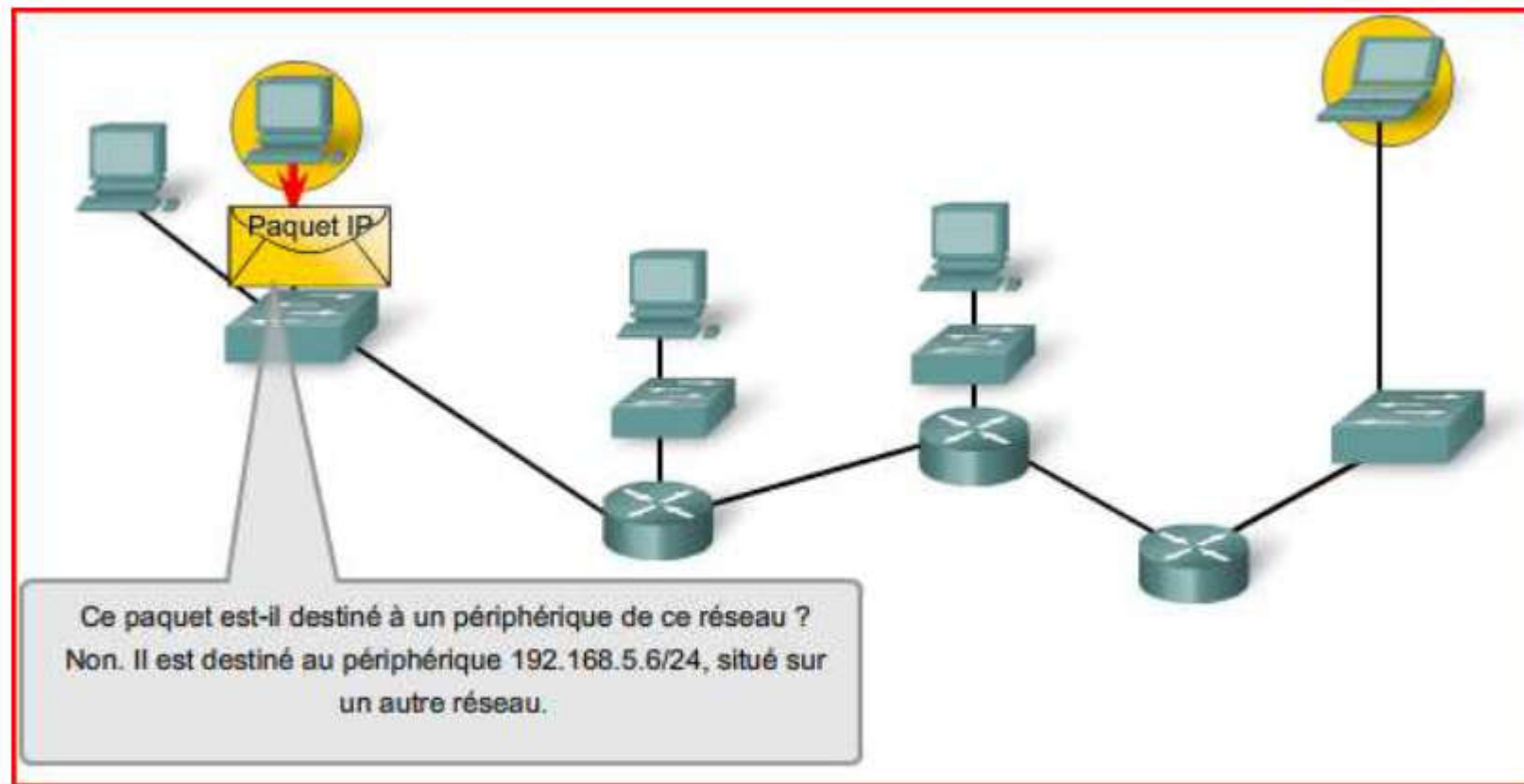
Réseau destination	Adresse passerelle
192.56.32.124/24	192.168.1.2
110.78.202.15/24	131.124.51.108
53.114.24.239/24	131.124.51.108
187.218.176.54/24	129.15.64.87

Remarque

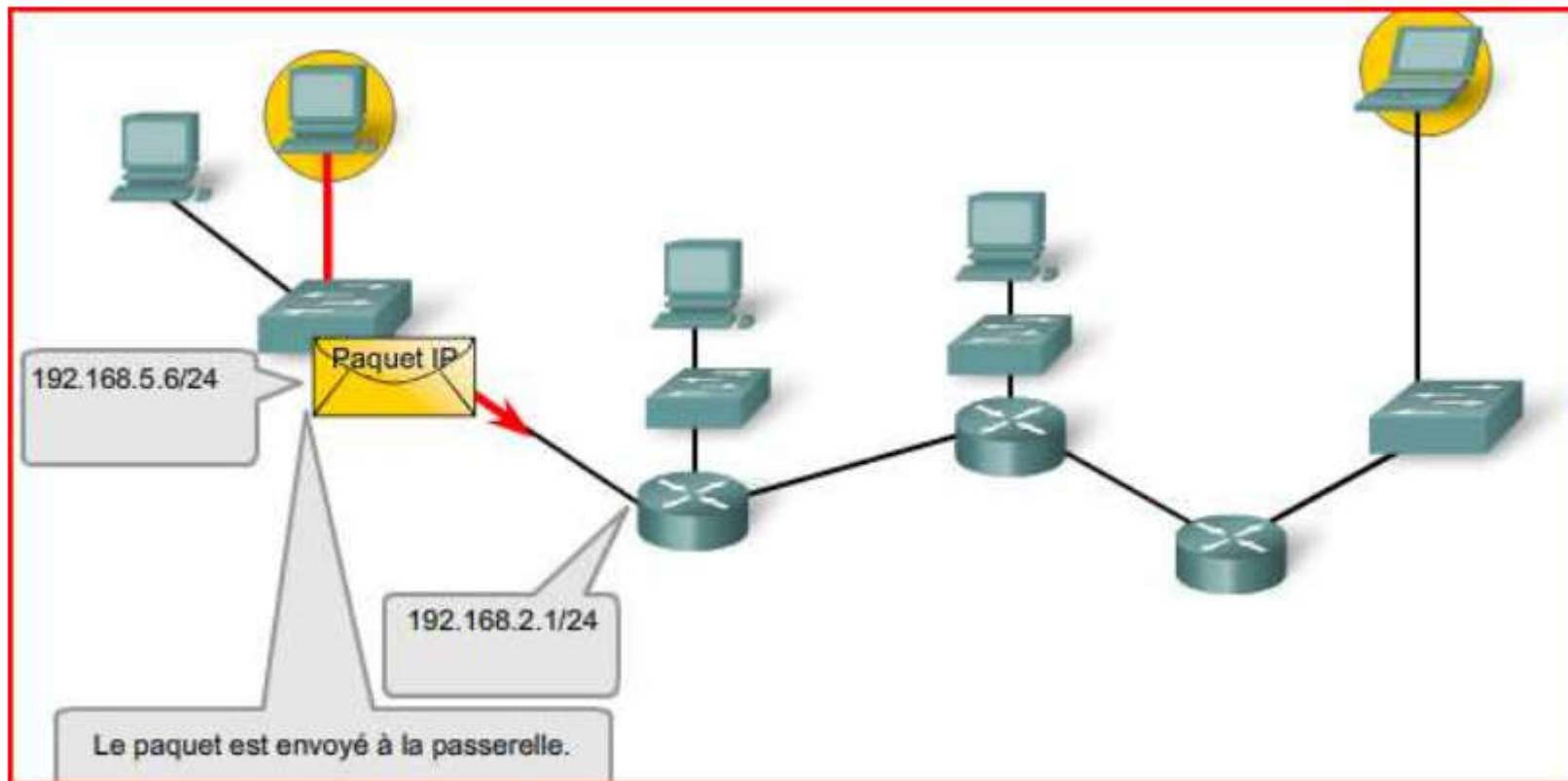
Pratiquement, chaque périphérique d'un réseau dispose de sa propre table de routage.

C'est entre autre comme cela qu'il mémorise l'adresse de la passerelle par défaut pour sortir du réseau local.

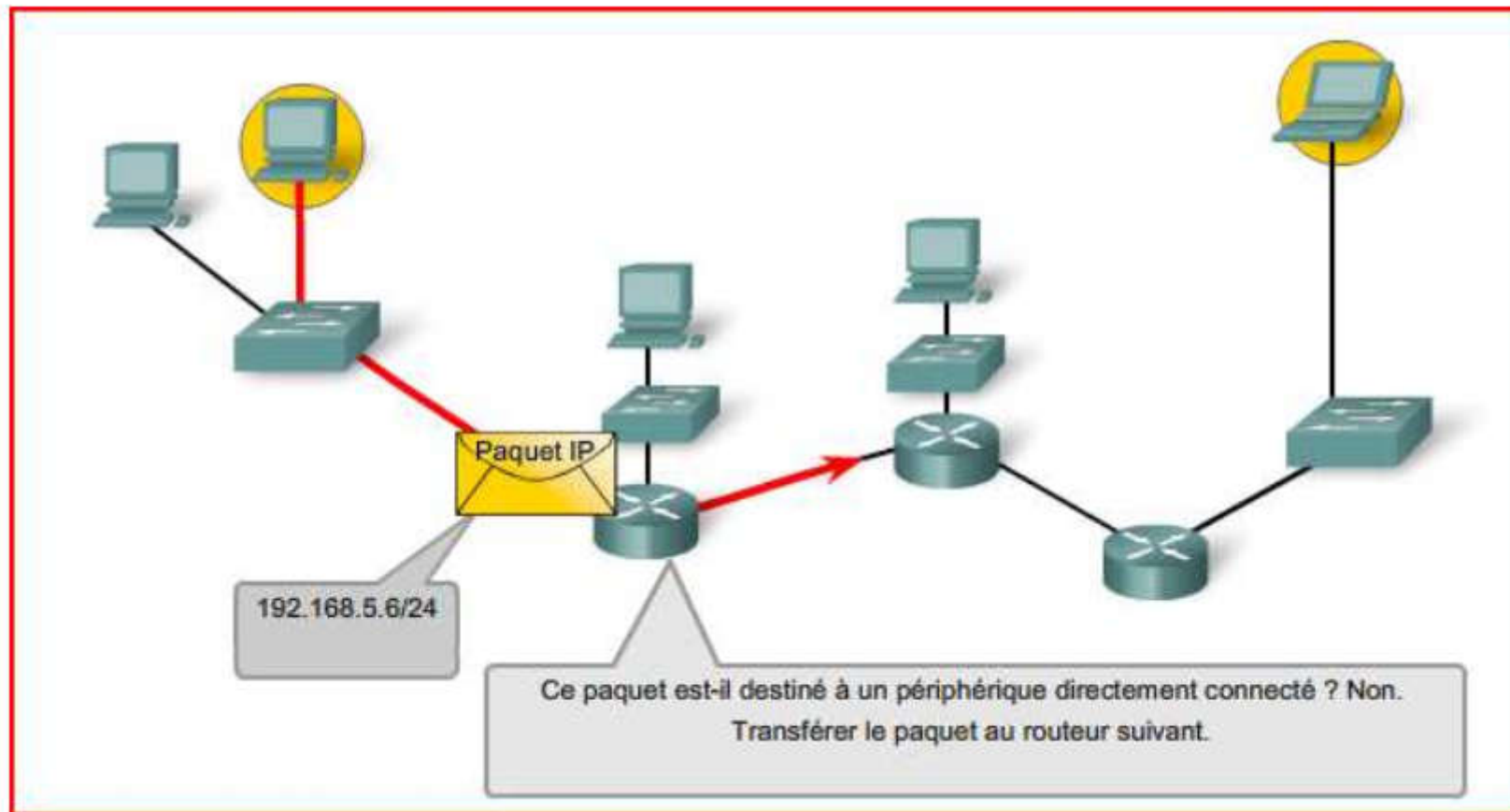
Principes de base... en images



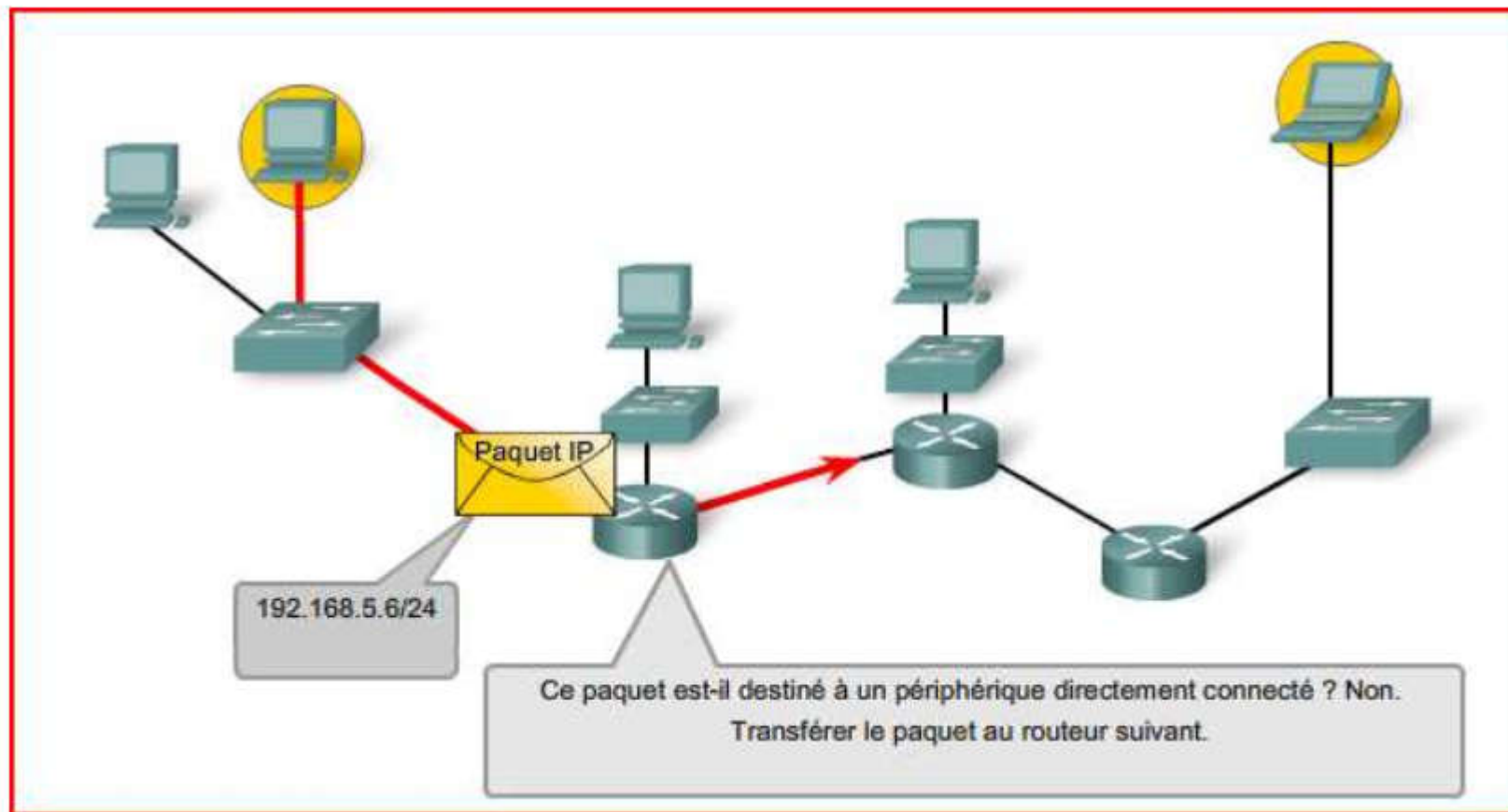
Principes de base... en images



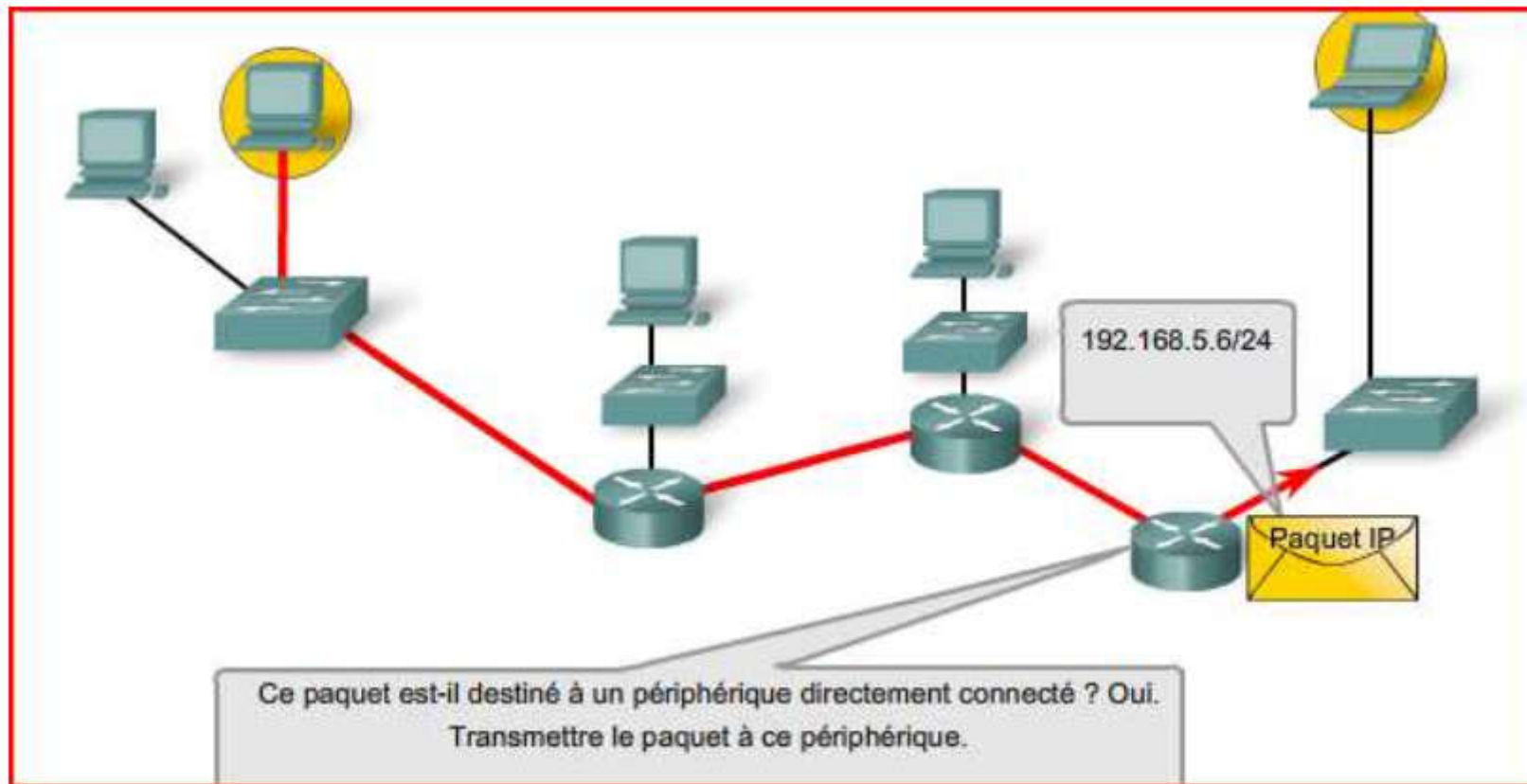
Principes de base... en images



Principes de base... en images



Principes de base... en images



Chacun sa route...

Chaque ligne de la table de routage s'appelle une **route**.

Une route possède au moins trois caractéristiques principales :

- Réseau de destination
- Tronçon suivant (adresse de la passerelle)
- Mesure

Chacun sa route...

Le routeur va toujours choisir la route associée à l'adresse utilisable **la plus spécifique** correspondante à la destination.

Si plusieurs routes sont possibles pour une même destination, la mesure permet de décider laquelle utiliser.

Si l'adresse destination n'appartient à aucun des réseaux de ma table, utiliser la passerelle associée à une **route par défaut** (associée à 0.0.0.0)

Chacun sa route...

Exemple

Destination	Passerelles
10.1.0.0	Gateway 1
10.0.0.0	Gateway 2
10.0.1.0	Gateway 3
10.1.1.0	Gateway 4
Défaut	Gateway 5

Si destination = 10.1.1.55, les choix dans l'ordre sont :

Gateway 4, Gateway 1, Gateway 2, Gateway 5

Routes par défaut

Essentielles car il est improbable que chaque routeur ait une route vers chaque réseau possible d'internet...

Un paquet empruntant une route par défaut doit finir par arriver sur un routeur ayant une route spécifique vers la destination.

Abandon de paquet

Pour un paquet, si sur un routeur quelconque aucune route n'est trouvée dans la table de routage et s'il n'existe pas de route par défaut : ce paquet est abandonné.

Rappel : IP ne permet pas d'identifier et de gérer la perte de paquet.

Remarques

Internet est un réseau qui évolue sans cesse et dont le graphe est dynamique.

Tous les paquets ayant la même destination ne sont pas obligatoirement transférés au même tronçon suivant de chaque routeur : découverte de nouvelles routes de communication...

Question

Comment remplir et maintenir à jour les tables de routage ?

Configuration des tables de routage

La table de routage doit représenter l'état le plus exact des chemins réseau auquel le routeur peut accéder.

Les routes peuvent être configurées :

- manuellement
- dynamiquement

Configuration manuelle

Les routes décrivant les tronçons suivant peuvent être configurées manuellement dans la table : on parle de **routage statique**.

Si la structure d'inter-réseau change (disparition ou création de nouvelles connexions), il faut mettre à jour manuellement la table de routage.

Configuration dynamique

Chaque routeur crée et met à jour automatiquement sa table de routage en fonction des informations qu'il connaît : **routage dynamique**.

Principe de partage d'information entre les routeurs : lorsqu'un routeur reçoit des informations de modification, il met à jour sa table de routage et transmet ces informations aux autres routeurs.

Routage dynamique

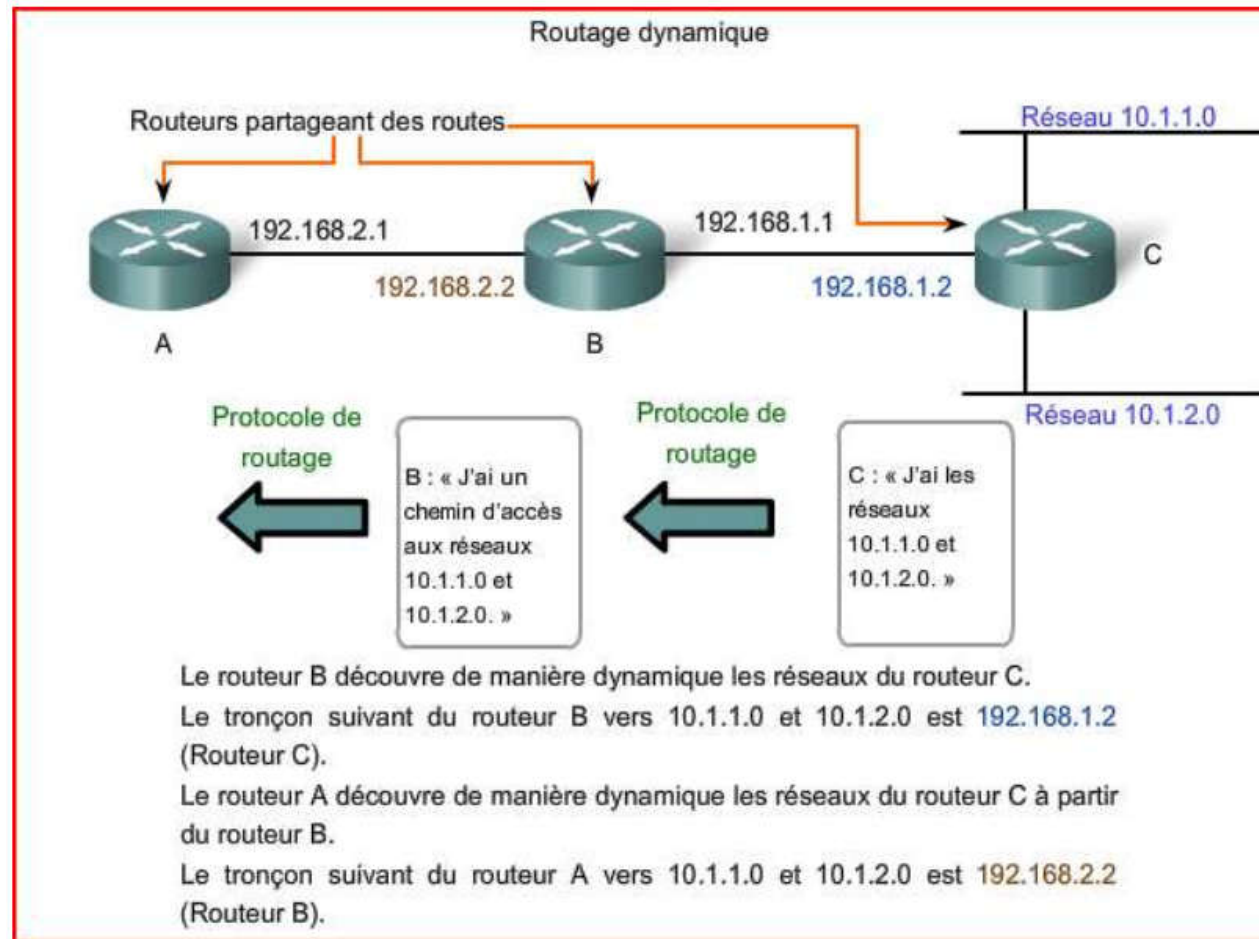
Les informations échangées entre les nœuds peuvent être variées.

Exemple :

Vecteur de distance

- Un nœud N connaît le coût pour joindre chacun de ses voisins
- Il transmet l'info à tous ses voisins
- Chaque voisin additionne cette donnée au coût pour joindre N
- Chaque nœud retient le total minimum pour déterminer le meilleur intermédiaire pour chaque destination
- On répète cela jusqu'à ce que les tables convergent (plus de modification)

Routage dynamique



Routage dynamique

Ces échanges et mises à jours sont définis dans un grand nombre de protocoles de routage, par exemple :

- RIP : Routing Information Protocol
- EIGRP : Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
- OSPF : Open Shortest Path First

Exemple d'algo de calcul de table de routage

Algorithme de Dijkstra

Objectif

Résolution du problème de plus court chemin en théorie des graphes. Soit G le graphe à traiter. Un poids positif est associé à chaque arc.

Principe

- On débute en partant d'un sous-graphe P contenant uniquement le sommet de départ.
- On étend progressivement ce sous-graphe P en ajoutant un sommet (et son arc) n'appartenant pas encore à P . Ce sommet est choisi en tant que sommet dont la distance depuis le sommet source est minimale (par rapport à tous les sommets candidats).
- On continue avec le nouveau P , jusqu'à ce que celui-ci couvre G ou que le sommet destination appartienne à P .

Exemple d'utilisation

protocole OSPF.

Exemple d'algo de calcul de table de routage

Algorithme de Bellman-Ford

Objectif

Résolution du problème de plus court chemin dans un graphe **orienté** pondéré . Soit G le graphe à traiter. Un poids sur un arc peut être négatif, il peut exister des chemins absorbants.

Principe

- S'appuie sur le principe de la programmation dynamique consistant à décomposer le problème en sous-problèmes plus simples.
- Les sous-problèmes sont : trouver la distance d'un sommet s vers un sommet t avec un chemin contenant au plus n arcs
- On fait varier la valeur de n et on s'appuie sur les valeurs de distance déjà calculées.

Exemple d'utilisation

protocole RIP.

Configuration dynamique vs statique

Configuration dynamique

- Avantages ??
- Inconvénients ??

Configuration statique

- Avantages ??
- Inconvénients ??

Configuration dynamique vs statique

Configuration dynamique

- Les tables de routage sont toujours à jour
- Occupation du réseau pour échanger les infos
- Requiert des routeurs plus performants : traitement des algorithmes de mise à jour + gestion des paquets

Configuration statique

- Pas de surcharge sur le réseau
- Pas de traitement supplémentaire par les routeurs
- Plus facile de gérer la sécurité.
- Administration de la table de routage (risque d'oubli etc...)

Du global au local

D'un point de vue trame (couche inférieure) seules les adresses MAC sont connues....

- Adresse MAC du destinataire lorsque le paquet arrive sur le réseau auquel appartient la machine destinataire.

ou

- Adresse MAC du routeur ou passerelle du tronçon suivant

Problème

Comment passer de l'adresse IP à l'adresse MAC ?

Une solution : ARP

Utilisation d'**ARP** : Address Resolution Protocol

Protocole situé entre la couche 2 et la couche 3 (2,5 ?)

Chaque hôte possède une table ARP (cache ARP) associant une adresse MAC à une adresse IP.

Enregistrement éphémère dans cette table.

Fonctionnement d'ARP

Le nœud demandeur place ses émissions en attente.

Lancement d'une requête ARP en broadcast (i.e. adressée à tous les périphériques du segment).

Le périphérique reconnaissant son adresse IP répond en indiquant son adresse MAC.

Les deux parties mettent à jour leur cache (avec adresse MAC et adresse IP)

Fonctionnement d'ARP et sortie du réseau

Si un paquet IP doit sortir du LAN le processus est le même avec comme nœud de destination « immédiate » la passerelle (et recherche de l'adresse MAC de celle-ci).

Inconvénients d'ARP

Protocole non sécurisé : toute machine peut répondre à tort à la requête ARP -> attaque d'interception.

Les requêtes sont diffusées à l'ensemble du LAN
-> inondation du réseau

Gestion des erreurs sur IP

IP est un protocole « très simple » se focalisant presque exclusivement sur le routage des paquets.

Il ne propose ni gestion d'erreur, ni gestion de flux. C'est aux autres couches de prendre en charge ces problématiques.

La plupart du temps, si un paquet pose problème IP le jette purement et simplement (TTL, pas de route etc...)

Gestion des erreurs sur IP

Il semble cependant légitime de pouvoir avertir les émetteurs en cas de destruction de son paquet.

C'est le rôle du protocole **ICMP**

Internet **C**ontrol **M**essage **P**rotocol

Protocole d'information du contrôle de réseau.

Le protocole ICMP

ICMP n'est en aucun cas un protocole de résolution d'erreur ou de problème. Son rôle se limite simplement à informer l'émetteur du datagramme du problème de routage.

Il se situe entre la couche 3 et la couche 4.

Le protocole ICMP

Un datagramme ICMP est traité (presque) comme les autres données de la couche 4. Il est donc encapsulé dans un paquet IP (avec la valeur 01h pour le champ protocole).

La seule différence : c'est souvent IP qui demande lui-même la création d'un datagramme à ICMP

Format d'un datagramme ICMP

Le format d'un datagramme ICMP varie en fonction du type du message véhiculé.

Un octet permet d'identifier le type du message :

Exemples :

00 : réponse à l'écho

03 : destinataire inaccessible

08 : echo

0B : time out dépassé

Utilisations connues:

Ping utilise des datagrammes ICMP (echo et echo_response)

Lorsque le TTL arrive à 0, le paquet est détruit par le routeur et ICMP_TIME_OUT est envoyé.

L'homme du jour

Edsger Dijkstra



né le 11 mai 1930 à Rotterdam et mort le 6 août 2002 à Nuenen.

Mathématicien et informaticien néerlandais, il travaille essentiellement sur la science et l'art des langages de programmation. Il contribue fortement au développement du langage Algol et est un fervent combattant du GOTO (article *Go To Statement Considered Harmful*).

En 2002, il reçoit le prix PoDC de l'article influent pour ses travaux sur l'autostabilisation. En 2003, le prix sera renommé prix Dijkstra en son honneur.

Il reçu le prix Turing en 1972.

Conclusion

Le routage fait partie intégrante de la couche réseau.

Le routage se base :

- sur la structure hiérarchique des adresses
- sur une structure de données distribuée
- sur l'utilisation d'algorithmes permettant de calculer une meilleure route