

Routage sur Internet

1. Pré-requis

- Notion d'adresse IP
 - Principe de l'internet
- (- Découpage des données en paquets)

2. La notion de routage dans les programmes

a) Programme de seconde SNT

- Contenus :

Protocole TCP/IP : paquets, routage des paquets

- Capacités attendues :

Caractériser les principes du routage et ses limites. Distinguer la fiabilité de transmission et l'absence de garantie temporelle.

- Exemples d'activités

Illustrer le fonctionnement du routage et de TCP par des activités débranchées ou à l'aide de logiciels dédiés, en tenant compte de la destruction de paquets.

b) Programme de première NSI

- Pas de référence précise au routage, on s'appuie sur les acquis de seconde.

c) Programme de terminal NSI (projet)

- Contenus :

Protocoles de routage.

- Capacités attendues :

Identifier, suivant le protocole de routage utilisé, la route empruntée par un paquet.

- Commentaires :

En mode débranché, les tables de routage étant données, on se réfère au nombre de sauts (protocole RIP) ou au coût des routes (protocole OSPF). Le lien avec les algorithmes de recherche de chemin sur un graphe est mis en évidence.

d) En résumé

- Principe du routage
- Découpage en paquets (et encapsulation)
- Destruction de paquets → Fiabilité
- Tables de routage (statiques et dynamiques)
- Mise à jour des tables de routage dynamique et protocoles associés.

e) Objectifs de la séquence

- Principe du routage et fonctionnement détaillé, protocole de communication ARP
- Tables de routage statiques et dynamiques, masque,

3. Déroulé de la séquence

a) Activité « déclenchante »

Supposons que l'on veuille acheminer une donnée d'un ordinateur A situé par exemple en France à un ordinateur B situé à l'autre bout du monde, cette donnée va devoir emprunter un chemin sur Internet en passant par de nombreux éléments du réseau. **Comment ce chemin est-il élaboré ?**

Dans la vraie vie, si vous voulez aller d'un point A à un point B vous disposez d'outils tels que Google Maps qui vont calculer un chemin pour aller de ce point A à ce point B en passant par différentes villes et en empruntant un certain nombre de routes plus ou moins importantes. On sait donc à l'avance quel chemin on va emprunter.

Question 1 (débat)

Internet ne dispose pas d'un tel outil. Donner des raisons qui explique cela.

Éléments de réponse :

→ Le très grand nombre d'appareils connectés à Internet

(<https://fr.statista.com/statistiques/584481/internet-des-objets-nombre-d-appareils-connectes-dans-le-monde--2020/>)

→ Absence d'une base de données centralisée qui répertorie tous les appareils (nécessité d'avoir une cartographie de l'ensemble des routes et de disposer de données sur le trafic en temps réel).

→ A chaque instant, de nouveaux appareils se connectent ou sont déconnectés d'Internet dans le monde.

Néanmoins, dès le début d'internet, il a fallu mettre en place un système qui permet à chaque instant d'acheminer une donnée d'un point A du réseau à un point B. Ce système porte le nom de « **routage** ». Bien que le principe du routage soit assez simple à appréhender, en pratique il met en œuvre de nombreux protocoles et des algorithmes élaborés.

Définition : le **routage**, c'est le processus qui consiste à acheminer un paquet vers son adresse IP de destination.

Principe général du routage :

Pour comprendre les principes généraux du routage sur internet nous allons imaginer la mise en place d'un mécanisme de routage pour envoyer des paquets dans une ville fictive un peu spéciale. Tout d'abord, cette ville portent le joli nom de « 195 ». Elle est divisée en arrondissements qui portent chacun un numéro entre 001 à 255, ... et chaque arrondissement est divisé en quartiers qui portent également un numéro entre 001 à 255 Enfin, chaque quartier est constitué d'habitations et à chaque maison du quartier, on a attribué un numéro entre 001 et 255.

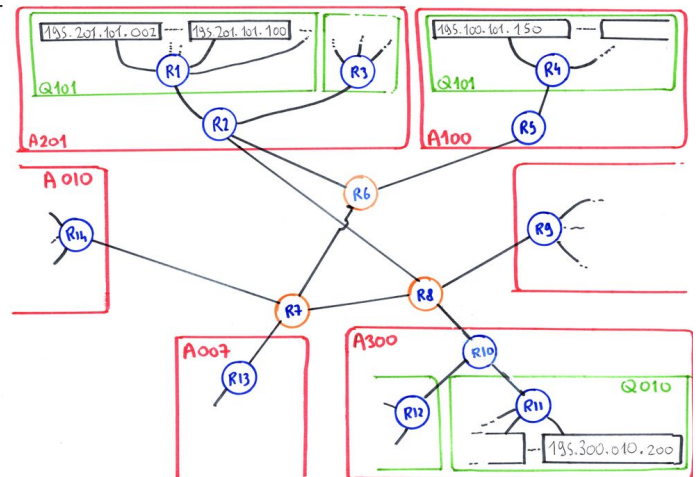
L'adresse complète s'écrit sous la forme « **nom de la ville.numéro arrondissement.numéro quartier.numéro maison** ». Par exemple, l'adresse « **195.102.004.002** » désigne l'habitation n° 002 dans le quartier 044 de l'arrondissement 102 de la ville 195.

Remarque : l'intégralité des indications figurant dans l'adresse est nécessaire pour identifier une habitation (même le nom de la ville car vous aurez deviné qu'il y a autour de « 195 », d'autres villes avec des noms tout aussi charmants).

Pour envoyer un paquet d'une adresse à une autre, la ville a mis en place un service de distribution basé sur un réseau qui relie les habitations les unes aux autres via des carrefours que nous appellerons « routeurs ».

→ **Voir annexe à la fin du document**

Dans chaque routeur figurent des indications sur le chemin à suivre pour le paquet jusqu'au prochain carrefour/routeur pour arriver finalement jusqu'à la destination.



Définition d'un routeur :

Sur Internet, un routeur est un ordinateur qui assure le routage et qui a pour fonction d'acheminer des informations sur le réseau.

Principe général du routage :

Chaque routeur donne des indications sur le chemin à suivre jusqu'au prochain routeur. Un algorithme de décision permet de déterminer la route à choisir. Ainsi, de proche en proche, on arrive à destination.

Remarque : Le routage ne consiste donc pas à déterminer par avance le chemin complet jusqu'à sa destination, il détermine seulement la prochaine destination.

Table de routage

L'ensemble des indications données à chaque carrefour sera appelée « **table de routage** ».

Voici quelques tables de routage :

Table de routage de R2 :

Adresse de destination	Masque	Prochain routeur
195.201.101.0	255.255.255.0	R1
195.201.200.0	255.255.255.0	R13
195.100.0.0	255.255.0.0	R6
0.0.0.0	0	R8

Commentaires :

Il s'agit bien sûr de commenter et d'expliquer le tableau :

la dernière ligne représente la route par défaut...

Utilisation des masques...

Table de routage de R1 :

Adresse de destination	Masque	Prochain routeur
0.0.0.0	0	R2
195.201.101.0	255.255.255.0	---

Routage statique/ routage dynamique

- Les tables de routages des routeurs bleues sont administrées manuellement. On parle de « **routage statique** ».
- Les tables de routages des routeurs en oranges sont administrées de façon automatique. On parle de « **routage dynamique** ». Ces routeurs communiquent entre eux et utilisent des algorithmes pour mettre à jour leurs tables.

Un exemple possible de table pour le serveur **R8** est :

Adresse de destination	Masque	Prochain routeur
195.100.101	255.255.255.0	R5
195.010.0.0	255.255.0.0	R7
195.300.0.0	255.255.0.0	R14
195.201.0.0	255.255.0.0	R2

Question 2

Proposer des tables de routage des routeurs R6, R5 et R4 (il n'y a pas une seule solution)

Table de routage de R6 :

Adresse de destination	Masque	Prochain routeur

Table de routage de R5 :

Adresse de destination	Masque	Prochain routeur

Table de routage de R4 :

Adresse de destination	Masque	Prochain routeur

Question 3

En déduire la route pour aller de 195.201.101.002 à 195.100.101.150

Question 4

De la même façon, proposer des tables de routage des routeurs R10 et R11

En déduire la route pour aller de 195.300.010.200 à 195.201.101.002

Question 5 - Un route bloquée !

Pour des raisons de travaux, la liaison entre les serveurs R2 et R8 est interrompue.

Quelles conséquences cela-a-t-il ? Comment remédier à ce problème ?

Proposer un nouveau chemin pour aller de 195.201.101.002 à 195.100.101.150

Proposer des modifications pour les tables.

→ Nécessité de mettre à jour les tables de routage

→ Intérêt du routage dynamique : les tables de routages sont automatiquement mises à jour pour tenir compte d'une modification du réseau global (panne de routeur, nouvelle route, route barrées...).

Encore un effort - Ce n'est pas fini !

Une fois arrivé dans le bon quartier, comment trouver la bonne habitation pour le paquet ? En effet, les adresses des habitations ne figurent pas dans les tables de routage.

Dans notre ville imaginaire, le dernier trajet entre le routeur et l'habitation s'effectue à l'aide d'un autre service que celui utilisé auparavant. Mais, pour des raisons obscures, ce service ne connaît pas le chemin des maisons à partir de leur numéro : **chaque maison dispose d'un identifiant unique et le service connaît l'emplacement d'une maison par cet identifiant mais pas par le numéro.**

Enfin, chaque maison connaît son identifiant et son numéro.

Supposons que l'on distribue un paquet à l'adresse 195.100.101.150 à partir du routeur R4.

L'entreprise dispose d'un système de communication qui lui permet d'envoyer à toutes les maisons du quartier, la demande suivante : « quel est l'identifiant correspondant au numéro 195.100.101.150 ? ». Comme tout le monde entend, celui qui porte le numéro 195.100.101.150 répond en fournissant son numéro. Ainsi le service peut distribuer le paquet !

Sur Internet, ce protocole de communication est appelé ARP (« Address Resolution Protocol » ou autrement dit « protocole de résolution d'adresse »). C'est un protocole utilisé pour traduire une adresse de type IP en une adresse de « MAC » (l'identifiant de chaque habitation).

Question 6

Nous venons de dire que les adresse des habitations ne figurent pas dans les tables de routage. Comment le paquet est-il transmis au premier routeur ?

Réponse

Chaque habitation a sa propre table de routage qui indique le chemin vers le routeur le plus proche.

Remarques

- Ouverture possible vers la notion de paquet « acquitté »
- Ouverture possible vers la notion de découpage en paquets.

b) Table de routage sur Internet

Rappels

Lorsqu'un ordinateur émet un message vers un ordinateur situé sur un réseau différent, il transmet le message à "son" routeur (dit passerelle par défaut), qui à son tour le fait suivre à un autre routeur et ainsi de suite jusqu'à atteindre l'hôte de destination.

Que ce soit l'ordinateur émetteur ou tous les routeurs intermédiaires, tous consultent leur table de routage pour savoir à qui transmettre le paquet afin d'atteindre la cible.

Sur Internet, les choses sont un peu plus complexes que dans notre ville fictive.

Un routeur est un équipement réseau informatique assurant le routage des paquets. Son rôle est de faire transiter des paquets d'une interface réseau vers une autre, au mieux, selon un ensemble de règles.

- Un routeur dispose de plusieurs interfaces physiques (carte réseau) et une IP est attribuée à chaque interface physique.
- Dans la table de routage figure donc une colonne supplémentaire qui établit la correspondance entre l'adresse IP des passerelles et l'adresse IP des interfaces physiques du routeur.
- De plus, les routeurs communiquent entre eux et utilisent des algorithmes pour calculer une « métrique » associée à chaque ligne de la table. Cette « métrique » est un nombre entre 0 et 255 et permet d'évaluer la « qualité » de la route (0 pour la « meilleure » qualité).

Voici deux exemples de table de routage :

```

<AF>=Utilisez '-A <af>' ou '--<af>'; défaut: inet
Liste les familles d'adresses possibles (supportant le routage):
inet (DARPA Internet) inet6 (IPv6) ax25 (AMPR AX.25)
netrom (AMPR NET/ROM) ipx (Novell IPX) ddp (Appletalk DDP)
x25 (CCITT X.25)
olivier@olivier-HP-Mini-210-4000:~$ route -n
Table de routage IP du noyau
Destination      Passerelle      Genmask          Indic Metric Ref     Use Iface
0.0.0.0          192.168.1.1    0.0.0.0          UG    600    0       0 wl01
169.254.0.0     0.0.0.0        255.255.0.0      U     1000   0       0 wl01
192.168.1.0     0.0.0.0        255.255.255.0    U     600    0       0 wl01
olivier@olivier-HP-Mini-210-4000:~$

```

Exemple 1 de table de routage

IPv4 Table de routage					Ordre de traitement
Itinéraires actifs :					
Destination réseau	Masque réseau	Adr. passerelle	Adr. interface	Métrique	
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.8.254	192.168.8.16	20	3
192.168.8.0	255.255.255.0	On-link	192.168.8.16	276	2
192.168.8.16	255.255.255.255	On-link	192.168.8.16	276	1

Exemple 2 de table de routage

Une table de routage est composée de 5 colonnes :

a) Destination :

C'est là que l'on stocke les différentes destinations possibles :

b) Masque :

Indique le nombre de bits à comparer entre l'adresse de destination et le champ de Destination.

c) Passerelle :

Adresse où transférer le paquet ; l'adresse du prochain routeur dans le même sous réseau que l'expéditeur vers la destination.

d) Interface :

Interface réseau de la machine par où va sortir le paquet.

e) Métrique :

Coût du chemin qui permettra de choisir le meilleur chemin si plusieurs sont possibles.

Destination	masque	passerelle	interface	métrique

Règles de détermination de la route à partir d'une table

Pour envoyer un paquet, il faut déterminer quelle est la ligne de la table de routage qui est la meilleure pour atteindre la destination. Pour cela, on utilise le processus suivant :

1. Pour chaque ligne, on calcule un ET bit-à-bit entre l'adresse de destination du paquet et le masque contenu dans la table.
 2. On conserve les lignes pour lesquelles le résultat du ET est égal au champ Destination de la table.
 3. On sélectionne parmi ces lignes celle(s) ayant le plus grand nombre de bits à 1 dans le masque (c'est-à-dire les routes les plus spécifiques).
 4. S'il y en a plusieurs, on prend celle avec la plus petite métrique.
- Ce processus ne retournera qu'au maximum qu'une route.

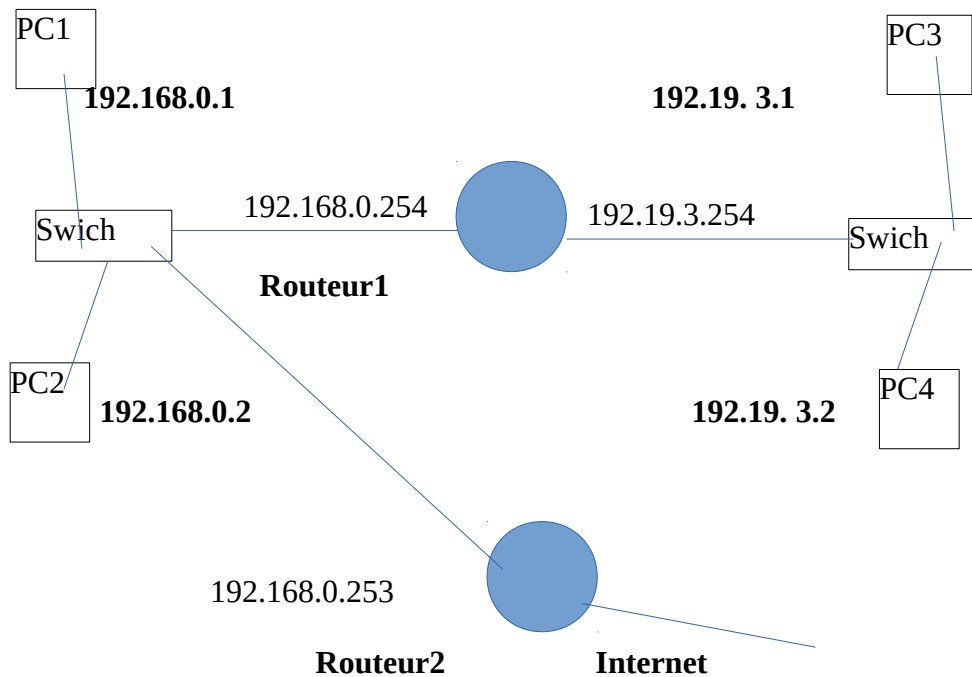
Notions à détailler

- Métrique
- Protocole RIP et protocole OSPF

4. Exercices

Exercice 1

Voici un réseau simplifié :



Compléter la table suivante :

machine	Destination	Masque	Passerelle	Interface
PC1	0.0.0.0	/0		192.168.0.1
	192.168.0.0	/24	192.168.0.1	192.168.0.1
PC3	194.19.3.0	/24	192.168.0.254	
	192.168.0.0	/24		
Routeur 1	0.0.0.0			
	194.19.3.0			
Routeur 2	192.168.0.0			
	194.19.3.0			

Correction

machine	Destination	Masque	Passerelle	Interface
PC1	0.0.0.0	/0	192.168.0.253	192.168.0.1

	192.168.0.0	/24	192.168.0.1	192.168.0.1
	194.19.3.0	/24	192.168.0.254	192.168.0.1
PC3	194.19.3.0	/24	194.19.3.1	194.19.3.1
	192.168.0.0	/24	194.19.3.254	194.19.3.1
Routeur 1	0.0.0.0	/0	192.168.0.253	192.168.0.254
	194.19.3.0	/24	192.19.3.254	192.19.3.254
	192.168.0.0	/24	192.168.0.254	192.168.0.254
Routeur 2	192.168.0.0	/24	192.168.0.253	192.168.0.253
	194.19.3.0	/24	192.168.0.254	192.168.0.253

Exercice 2 - Déterminer une route

On dispose de la table suivante :

machine	Destination	Masque	Passerelle	Interface
PC1	0.0.0.0	/0	192.168.0.253	192.168.0.1
	192.168.0.0	/24	192.168.0.1	192.168.0.1
	192.19.3.0	/24	192.168.0.254	192.168.0.1
	192.19.3.1	/32	192.168.0.254	192.168.0.1

PC1 envoie un paquet à 192.19.3.2. Quelle est la destination choisie ?

Correction

On calcule les ET bits à bits

1) 192.19.3.2

ET

0.0.0.0

= 0.0.0.0 correspond au champ Destination => conservée

2) 192.19.3.2

ET

255.255.255.0

= 192.19.3.0 non égal au champ Destination => route rejetée

3) 192.19.3.2

ET

255.255.255.0

= 192.19.3.0 correspond au champ Destination => conservée

4) 192.19.3.2

ET

255.255.255.255

= 192.19 .3.2 non égal au champ Destination => route rejetée

On a 2 routes qui correspondent. On choisit celle dont le masque est le plus long :

- route 1 : masque de 0 bits.

- route 3 : masque de 24 bits.

=> C'est la route 3 qui sera choisie

Exercice 3 (à faire)

Proposer un exercice avec des masques moins « simples » du type /28 ou /30 etc.

