RESEAUX - HLIN611

Licence L3 Informatique

Anne-Elisabeth Baert - baert@lirmm.fr

10 février 2020

Problème

On peut imaginer un réseau de Classe C sans répartition en sous-réseaux, sans trop de difficultés. Quoique, si l'on en a besoin, serait-ce possible à réaliser ?
Par contre, il est absurde de construire un réseau de classe B ou (pire) A sans le répartir en sous-réseaux.

Comment faire ?

On devrait pouvoir plutôt adapter l'organisation du réseau aux services demandés.

Organisation

Partager un réseau en sous-réseaux permet :

de faire correspondre l'organisation du réseau avec l'organisation administrative en services :

- les personnes d'un même service S_0 ont besoin de correspondre entre eux plus souvent qu'avec d'autres services (est-ce vrai ?) ;
- ils ont alors besoin de ***leur*** sous-réseau ;
- bien sûr, ceci ne doit pas empêcher le communications entre différents services, donc entre les sous-réseaux.

Organisation

Partager un réseau en sous-réseaux permet :

d'améliorer le fonctionnement global du réseau :

- lorsque tous les hôtes d'un réseau sont sur une seule liaison physique, alors toute comunication entre deux hôtes bloque la ressource réseau globale (pas de parallélisme possible) ;
- la séparation en sous-réseaux permettra de n'affecter qu'un sous-réseau lorsque deux hôtes d'un même sous-réseau communiquent entre eux ; le parallélisme devient possible : deux hôtes H_1 et H_2 peuvent communiquer sur leur sous-réseau SR_1 sans perturber la communication entre H_3 et H_4 sur SR_2.

Principe de l'Adresse Réseau

Une adresse réseau :

partie réseau	partie hôte

La partie *hôte* est à disposition de l'administrateur local. Qui peut en profiter pour créer des sous-réseaux.

Une adresse réseau et son sous réseau :

réseau	sous-réseau	hôte

La longueur attribuée à la partie *sous-réseau* va déterminer le nombre de sous-réseaux possibles et par conséquent le nombre d'hôtes dans ce sous-réseau.

Exemple de Partage

Un exemple sur 2 bits :

Deux bits de sous-réseaux permettent de configurer au plus 4 sous-réseaux, avec 64 hôtes au plus par sous-réseau.

Des adresses réservées

Il est d'usage de réserver deux adresses d'hôte :

- celle désignant *le réseau* (l' adresse hôte entière à 0 binaire) ,
- celle désignant *tous* (l'adresse hôte entière à 1 binaire).

Exemple sur une adresse

Un exemple sur 192.36.125.0

On a 192.36.125.0 attribuée à une institution. Si l'administrateur eut en faire 4 sous-réseaux, on aura la répartition suivante en binaire :

réseau	sous-réseau	hôte
11000000 00100100 01111101	00	000000 à 111111
11000000 00100100 01111101	01	000000 à 111111
11000000 00100100 01111101	10	000000 à 111111
11000000 00100100 01111101	11	000000 à 111111

Un exemple sur 192.36.125.0

On a 192.36.125.0 attribuée à une institution. Si l'administrateur eut en faire 4 sous-réseaux, on aura la répartition suivante en décimale :

SR n^o	adresse réseau	adresse tous	adresses hôtes
1	192.36.125.0	192.36.125.63	192.36.125.1 à 192.36.125.62
2	192.36.125.64	192.36.125.127	192.36.125.65 à 192.36.125.126
3	192.36.125.128	192.36.125.191	192.36.125.129 à 192.36.125.190
4	192.36.125.192	192.36.125.255	192.36.125.193 à 192.36.125.254

VOTAR

- En affectant 2 bits aux sous-réseaux, Quelle répartition de sous réseaux peut on faire ?
  - on pourrait aussi construire 1 sous-réseau de 128 adresses d'hôtes et 2 sous-réseaux de 64.

Definition

Un masque est *une donnée numérique (binaire), permettant d'extraire une partie d'une donnée numérique par une opération logique (un et pour ce qui nous intéresse ici)* .

Rapidité et efficacité !

Cette opération est nettement plus rapide qu'une suite de décalages.

Exemple de Masque

Examples

On prend un réseau de classe C, sans sous-réseaux, par exemple 192.34.38.0. Le masque 255.255.255.0 permet d'extraire l'adresse réseau à partir de l'adresse de tout hôte. Soit un hôte *H* d'adresse 192.34.38.212 ;

	192	34	38	212
et	255	255	255	0
s'écrit	11000000	00100010	00100110	11010100
et	11111111	11111111	11111111	00000000
résultat	11000000	00100010	00100110	00000000
soit	192	34	38	0

Attention

Des 0 et des 1

Un masque n'est pas nécessairement constitué d'une suite consécutive de 1, suivie d'une liste de 0.
En fait, dans la configuration des réseaux il est très commode d'utiliser des masques constitués d'une suite de 1 suivie d'une suite de 0, parce que les parties réseaux et sous-réseaux sont « à gauche ».

Pourquoi le Routage a besoin de Masques ?

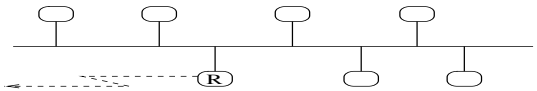
Algorithmes de routage

On utilise des masques dans l'algorithme de routage (cf. couche réseau) pour répondre lors du traitement d'un paquet à la question : *Est-ce que le destinataire du paquet est sur le même (sous-)réseau que moi-même ?*

On verra qu'en fait la question est un peu différente, mais elle se généralise facilement.

Examples

Soit un réseau de classe C, 192.34.38.0 sans sous-réseaux, connecté au monde extérieur par un routeur R. Une représentation dans le cas d'un réseau à diffusion (par exemple, ethernet) serait :



La table de routage classique, simplifiée, d'un hôte quelconque H_0 se présente ainsi :

Destination	Contact	Interface
192.34.38.0	direct	eth0
autre (*défaut*)	192.34.38.1	eth0

Les adresses et périphériques

`eth0` désigne *le périphérique « carte réseau »*.
192.34.38.1 est l'adresse réseau du routeur.

Késako ?

Cette table dit que :

- pour tout paquet destiné à un hôte local, H_1 par exemple, il faut expédier le paquet directement à H_1 ; ceci veut dire que la couche liaison de H_0 mettra dans l'adresse de destination l'adresse liaison (dite aussi adresse physique) de H_1 ;
- pour tout paquet destiné à un hôte **non** local, H_{ext}, il faut expédier le paquet à 192.34.38.1, ici le routeur ; ceci veut dire que la couche liaison de H_0 mettra dans l'adresse de destination l'adresse liaison du routeur.

Des questions ....

Question :

Comment peut-on savoir qu'une adresse de destination fait partie du réseau local ou non ?

Réponse :

en utilisant un masque appliqué aux adresses source et destination. Si le résultat est identique, alors les deux hôtes sont sur le même réseau.

Question :

Quel masque faut-il appliquer pour que le routage se passe correctement dans tous les cas, quelle que soit la répartition en sous-réseaux ?

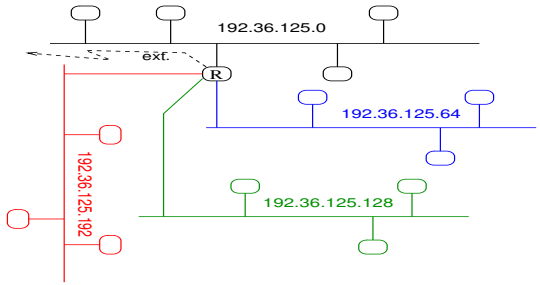
Spoil

Prochain cours ...

Masques de Sous-Réseaux

Example

Soit le réseau 192.36.125 divisé en quatre sous-réseaux, SR_1, SR_2, SR_3, SR_4 interconnectés par un routeur R.



Masques de sous réseaux

Le Problème ...

Un routage correct doit permettre à tout hôte d'acheminer directement un paquet destiné au même sous-réseau et de passer par le routeur pour toute autre adresse, extérieure ou appartenant à un des autre sous-réseaux. Le routeur doit pouvoir distinguer les divers sous-réseaux.

Une solution

On ajoute un masque pour *chaque destination dans la table de routage.*

Masques de sous réseaux

Sur un hôte quelconque

Dans le sous-réseau 192.36.125.0

Destination	Contact	Masque	Interface
192.36.125.0	direct	255.255.255.192	eth0
autre (*défaut*)	192.36.125.1	???	eth0

Sur un hôte quelconque

Dans le sous-réseau 192.36.125.64

Destination	Contact	Masque	Interface
192.36.125.64	direct	255.255.255.192	eth0
autre (*défaut*)	192.36.125.65	???	eth0

Question

À quoi correspondent les adresses 192.36.125.1, 192.36.125.65 ?

Table du Routeur

table du routeur

Destination	Contact	Masque	Interface
192.36.125.0	direct	255.255.255.192	xxx0
192.36.125.64	direct	255.255.255.192	xxx1
192.36.125.128	direct	255.255.255.192	xxx2
192.36.125.192	direct	255.255.255.192	xxx3
autre (*défaut*)	*x.y.z.t*	???	xxx4

Questions :

- À quoi corespond *x.y.z.t* ?
- Que représentent les interfaces xxx1 à xxx4 ?

Notation

Limitation

On peut constater qu'une adresse IP est insuffisante pour déterminer la taille du réseau correspondant. Par exemple, 192.36.125.0 ne dit pas s'il s'agit d'un réseau découpé ou non.

Definition

On associe aux adresses de réseau le masque correspondant, par la notation : *adresse/masque* où *masque* désigne la longueur de la chaîne de bits à 1.

Example

192.36.125.0/26 désigne le réseau d'adresse 192.36.125.0 avec un masque contenant 26 bits à 1, c'est-à-dire le masque 255.255.255.192.

Toutes les valeurs de masque sont possibles, de /1 à /32.

Réseaux de Taille Intermédiaire

Le problème :

Que doit faire une organisation ayant besoin d'un réseau de plus de 254 hôtes, tout en ne justifiant pas d'un réseau de classe B ?

Ce problème est d'autant plus important que la classe B est saturée et qu'il y a actuellement peu de chances d'obtenir une telle adresse.

Solution :

Se faire attribuer plusieurs réseaux de classe C et jouer sur les masques et le routage afin de rendre cette attribution acceptable.

Sur-adressage

Definition

On vient de voir comment découper un réseau en sous-réseaux. Mais parfois on a besoin de faire l'opération réciproque : **associer plusieurs adresses obtenues en un seul réseau**. On parle alors de *sur-réseau*.

Des trous ...

Dans ce cas, il faudra obtenir des adresses *compatibles*, *c'est-à-dire ayant une partie commune* ***sans trous***.

Sur-adressage

Examples

- 192.34.38.0 et 192.34.39.0 peuvent être associées avec un masque de 23 *bits* ; on dit qu'elles sont *compatibles*.
- 192.34.38.0 et 211.56.72.0 ne sont pas compatibles : impossible de créer un réseau homogène avec ces deux adresses, avec un routage correct, sauf si on crée une table de routage avec autant de lignes que d'hôtes.
- 192.34.38.0 et 192.34.37.0 ne sont **pas** compatibles, à moins d'avoir obtenu **aussi** 192.34.36.0 **et** 192.34.39.0 !

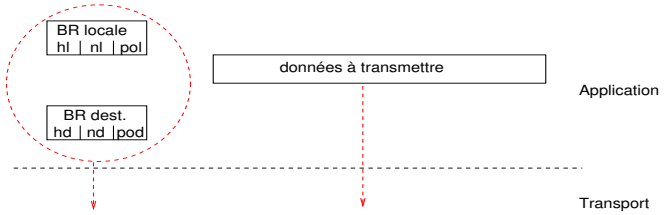
Rôle de l'application

Expédition

Lors d'une expédition, l'application expéditrice prépare et fournit à la couche en dessous (ici le transport) :

- le contenu du message (le *paquet vu par l'application*) à expédier
- les triplets des adresses des boîtes réseau *source* et *destination*.

Analyse dans l"application avant l'expédition (`send()` ou `sendto()`) : l'adresse de la BR de destination est déterminée.



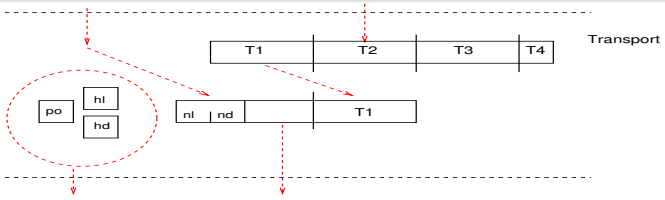
Rôle du Transport

Principe :

Chaque couche construit son paquet ; c'est ce qu'elle sait faire. Elle utilise ce qui lui est nécessaire et transmet à la suivante les éléments non utilisés jusque là.

La couche transport

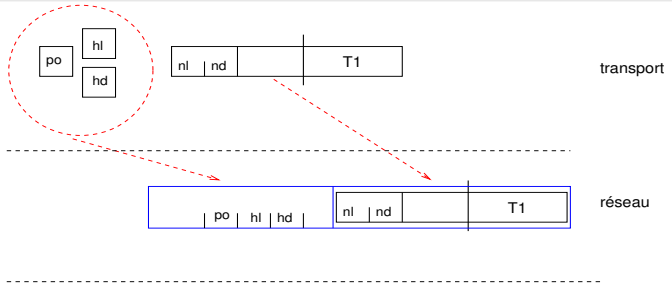
- utilise les numéros de BR inclus dans les adresses et seulement les numéros,
- découpe la données si nécessaire : déjà vu dans l'encapsulation.



Rôle de la Couche Réseau

La couche réseau

- utilise les adresses réseau (les numéros IP dans notre cas),
- redécoupe la donnée si nécessaire (penser aussi aux routeurs qui relient des réseaux de caractéristiques différentes)

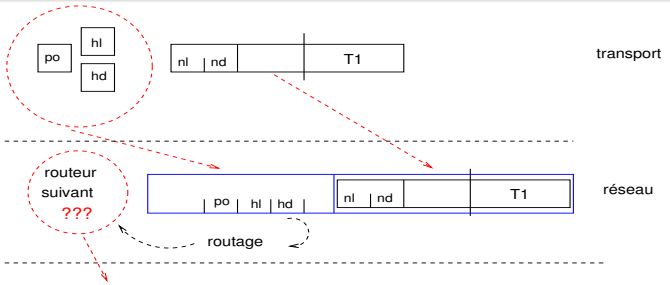


Rôle du Routage

Le paquet ? :

Le paquet de *bout en bout* est constitué, mais à qui le faire suivre ?

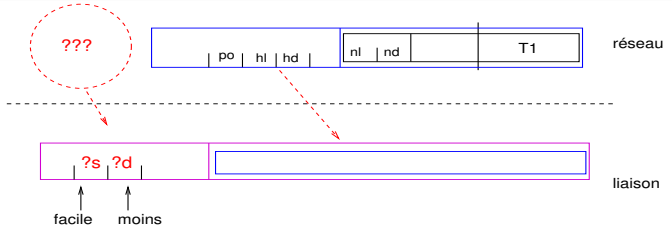
- La couche réseau résoud le problème du routage ; elle trouve donc l'adresse **réseau** du destinataire suivant.



Rôle de la Couche Liaison

La couche Liaison

Le **problème** : le voisin d'en dessous aura besoin de l'adresse du niveau liaison du destinataire local pour acheminer la donnée. Connaissant l'adresse réseau, comment obtenir l'adresse liaison ?



Solution

Si le problème ci-dessus est résolu, la couche liaison pourra utiliser son propre protocole pour acheminer le paquet au destinataire suivant.

Solution Statique

Correspondance d'adresse

Une solution possible consiste à avoir une table de correspondance pour l'ensemble des hôtes du réseau local, par exemple dans un réseau local type *ethernet* :

adresse réseau	*adresse physique*
201.202.203.1	8 : 0*A* : *B*2 : 84 : 7*F* : 04
201.202.203.2	0 : 12 : 34 : 8*F* : *EE* : *AA*

Problèmes

Une telle solution résout le problème, mais présente tous les défauts d'une table statique dès qu'une mise à jour doit être effectuée : toutes les machines doivent être mises à jour de façon coordonnée.

Ces mises à jour peuvent devenir fréquentes dans le cas d'affectation d'adresses de réseau dynamiquement (voir *dhcp*).

Solution Dynamique

Definition

La solution proposée actuellement est de construire la table précédente dynamiquement. Le protocole ***ARP*** (Address Resolution Protocol) est utilisé pour cette construction.

Principes

- Diffuser à tout le réseau local l'adresse réseau du destinataire (local) en demandant à celui qui possède cette adresse de répondre en donnant son adresse physique.
- Chaque hôte va maintenir sa propre table de correspondance dite table *ARP*, comme dans l'exemple précédent.
- Une durée de vie sera associée aux données, permettant de ne pas ignorer un hôte dont une des adresses a été modifiée. On parle de *cache ARP* .

Paquets ARP

Format des paquets ARP :

entête	type opération	adresse φ expéditeur
adresse réseau expéditeur	adresse φ cible	adresse réseau cible

type opération deux types sont possibles, requête (question) et réponse.

adresse φ adresse physique. Dans une requête ARP, l'adresse physique de la cible est évidemment absente.

Remarques :

- Ce même format de paquet peut être utilisé pour obtenir une adresse réseau à partir d'une adresse physique.
- La cible remplit le champ manquant, inverse expéditeur et cible, change le type de *requête* en *réponse* et renvoie le paquet.

Types d'Erreurs

Les exemples suivants permettent de voir l'étendue des dégats et de constater qu'annoncer une erreur à la source n'est pas toujours la bonne solution.
Un routeur peut se trouver dans une situation désagréable comme :

- pas de chemin vers l'adresse destination dans sa table de routage,
- l'hôte de destination n'existe pas (détection par le dernier routeur),
- le réseau par lequel il veut acheminer est en panne ou congestionné,
- obligation de détruire le datagramme, par exemple, suite à une erreur du code de contrôle, ou à une durée de vie dépassée.

ICMP intègre aussi la possibilité d'obtenir diverses informations entre routeurs, entre hôtes ou les deux. Une des utilisations les plus connues est

- la demande d'écho et
- la réponse associée à cette demande,

par le logiciel `ping`.

Présentation du Problème

Constat : l'acheminemqent de datagrammes dans l'Internet se fait **au mieux**, sans garantie de livraison.

Action : Si un routeur ne peut acheminer un datagramme alors il tente d'en avertir l'hôte expéditeur.

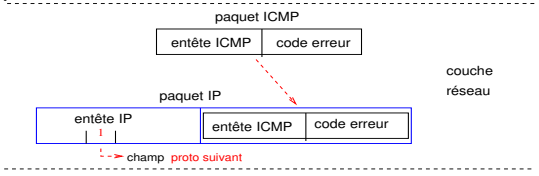
ICMP (*Internet Control Message Protocol*)est le protocole d'annonce d'erreurs.
Il est utilisé par le logiciel de la couche réseau (IP), non seulement dans le sens *routeur* $\rightarrow$ *hôte*, mais aussi par des hôtes ou routeurs pour des utilisations *détournées* comme par exemple des tests d'accessibilité.

Remarque : noter qu'un routeur ne peut annoncer l'erreur qu'à l'hôte source (seule adresse figurant dans le paquet IP). C'est le logiciel de la couche réseau sur l'hôte source qui traite l'erreur ou la fait suivre à l'application correspondante.

Où Traiter ?

ICMP fait partie de IP. C'est-à-dire que dans la couche *réseau* il y a du logiciel et des paquets ICMP au même titre que IP.

Les paquets ICMP sont acheminés dans des datagrammes IP. On en déduit l'encapsulation suivante :



Noter que le champ *protocole suivant* dans l'entête IP est utilisé pour désigner le *suivant*, soit dans la couche transport (tcp, udp, autre), soit ICMP, avec une valeur différente bien sûr.

Noter aussi qu'une erreur dans l'adresse source du datagramme va aboutir à la perte de l'annonce d'erreur.

Rappel du Paquet IP

Un rappel de la forme d'un paquet IP

octet 1	octet 2	octet 3	octet4
Vers. | lg. ent.	type service	lg. paquet	
Identification		drapeaux	place frag.
durée vie	proto. suiv.	contrôle entête	
adresse IP source			
adresse IP destination			
options . . .			
. . .			bourrage
Données . . .			

Paquet ICMP

- L'entête de tout paquet ICMP est de la forme :

type	code	contrôle
8bits	8bits	16 bits

- Le champ *type* désigne le type d'erreur. **Exemples** :

8	demande d'écho	3	destination inaccessible
0	réponse écho	4	congestion
		11	dépassement durée de vie

- Le champ *code* comporte une information complétant le type d'erreur. **Exemples** :

0	réseau inaccessible	1	hôte inaccessible
		6	réseau inconnu

- Dans tous les cas d'erreur, ICMP ajoute dans la donnée les 64 premiers bits du datagramme ayant provoqué l'erreur. Plus généralement, la donnée permet de compléter plus explicitement les indications de l'entête.

Destination Inaccessible

- Lorsqu'un routeur ne peut pas délivrer ou faire suivre un datagramme, il construit un message d'erreur ICMP, avec dans le champ *type* la valeur 3, dans le champ *code* une valeur de 0 à 12, calcule la somme de contrôle et ajoute au paquet ICMP les 64 premiers bits du datagramme, extrait l'adresse de l'hôte source *Hs* puis détruit ce datagramme non routable.

Ce paquet est encapsulé dans un datagramme IP, contenant en source le routeur expéditeur et en destinataire *Hs*, avec dans le champ *protocole suivant* le code 1, désignant ICMP.

L'hôte source peut ainsi analyser *plus sérieusement* la cause du rejet et faire suivre à l'application un retour d'erreur.

- Noter qu'un routeur peut faire suivre des datagrammes **sans se rendre compte** que la destination est inaccessible.

Exercice : Donner deux exemples démontrant ce phénomène, l'un concernant un hôte destinataire (penser à ethernet par exemple pour

Dépassement de Durée de Vie

Associer une durée de vie au datagramme IP permet de faire en sorte qu'un datagramme ne puisse circuler indéfiniment dans l'Internet sans arriver à destination.

Est-ce possible ? Oui, pour des erreurs de routage provoquant des aller-retours d'un datagramme entre deux routeurs, chacun ayant malheureusement une interprétation erronnée des informations de routage, ou pire, une boucle de routage entre plusieurs routeurs (voir le chapitre sur le routage).

Solution : le champ *durée de vie* contient dans sa forme la plus simple (l'actuelle, dans IPV4), le nombre maximum de routeurs que le datagramme peut traverser. Chaque datagramme IP se voit appliquer le principe suivant :

Algorithme TTL

Appelons *TTL* le champ *durée de vie* du datagramme IP.

L'hôte source du datagramme initialise ce champ à une valeur déterminée, dans le logiciel de la couche réseau.

Chaque routeur applique ensuite l'algorithme suivant :

TTL - - ;
si *(TTL == 0)* **alors**
    expédier message ICMP (dépassement TTL) à hôte source ;
    détruire datagramme ;

Les Échos

La demande d'écho dans ICMP permet aux routeurs de savoir si les routeurs voisins sont actifs ou non. Lorsqu'un routeur reçoit un message ICMP de *demande d'écho*, il doit répondre par un message ICMP de *réponse écho*.

Cette caractéristique est utilisée non seulement entre routeurs, mais aussi entre hôtes pour tester leurs présences, comme nous l'avons déjà vu pour le logiciel `ping`.

Noter que ping visualise la valeur du champ *Durée de Vie* et affiche aussi le temps d'aller-retour du datagramme.

Exercice : Pour quelles raisons est-ce que la durée d'aller-retour du premier datagramme dans `ping` est souvent supérieure aux suivants ?

Et si ICMP Provoquait une Erreur ?

Remarque Importante : Tout paquet ICMP est encapsulé puis routé dans un datagramme IP. Dès lors, ce datagramme peut subir les mêmes avatars que tout datagramme IP, perte, congestion, abandon.

Les pertes et erreurs engendrent des pertes et des erreurs (d'après Rez O.)...

Dans leur sagesse, les concepteurs ont décidé qu'on ne devait construire un message ICMP relatif à un datagramme contenant déjà un message ICMP...

Conséquence : voici encore une raison pour laquelle des protocoles comme `TCP` doivent inclure des garanties, ajouter des délais, tenir actifs les circuits virtuels, et alerter les applications avec des moyens complémentaires.

Détournenemnt de TTL

Le comportement des routeurs relativement au champ *Durée de Vie*, permet d'en faire une utilisation détournée, afin de déterminer le chemin d'accès à un hôte.

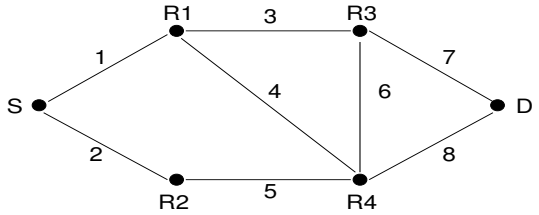
La commande `traceroute` applique un algorithme dont le principe est :

Algorithme 1 : traceroute(Hdest)

HdestNonAtteint = vrai ;
TTL=0 ;
tant que *(HdestNonAtteint)* **faire**
    TTL + + ;
    expédier (datagramme, Hdest) ;//demande écho par exemple ;
    si *(réponse ICMP)* **alors** afficher (expéditeur erreur ICMP) ;
    ;
    sinon si *(réponse de Hdest)* **alors** HdesNonAtteint=Faux ;
    ;
    ;

Analyse de Traceroute

Exercice : prendre le schéma de réseau suivant et montrer que l'algorithme précédent peut afficher des chemins faux ou pire, inexistants. On suppose que *S* cherche un chemin vers *D* et que les *Rx* représentent des routeurs.



On peut définir

- *faux* par : le résultat donné ne sera pas un chemin suivi par un paquet,
- *inexistant* par : le chemin affiché contient au moins un arc (ou un sommet) inexistant.

Fragmentation

Un datagramme IP peut être *fragmenté*, c'est-à-dire découpé en morceaux, sur un ou même plusieurs routeurs, en fonction des caratéristiques des réseaux que le routeur interconnecte.

Chaque fragment circule comme un datagramme indépendant, donc peut suivre un chemin différent d'un autre fragment.

Conséquences :

- le réassemblage ne peut se faire que sur le hôte destinataire final,
- dans la couche IP qui doit attendre la réception de tous les fragments, tout en acceptant entre temps d'autres datagrammes,
- chaque fragment doit contenir les informations nécessaires à l'identification du datagramme d'origine et à l'insertion correcte du fragment dans ce datagramme.

l'Avenir de la Fragmentation

Noter que dans IPV6, cette notion de fragmentation a été abandonnée ! C'est aux hôtes et aux protocoles de plus haut niveau de *se débrouiller* pour que le datagramme chemine correctement sans découpage.

Autrement dit, on simplifie le routage, en se déchargeant des problèmes embêtants sur les voisins.
C'est aux voisins de chercher un chemin acceptable ; s'il y a un problème entraînant le non acheminement pour cause de longueur excessive, on recevra un message d'erreur. Il faudra chercher un autre chemin.