

----- *PETIT COURS SUR LE ROUTAGE* -----

Auteur: Toto <j_bond@laposte.net>

Disponible sur <<http://www.lalitte.com/routage>>

Dernière mise à jour 07/07/03 (version précédente 03/07/03)

.....

Les phrases/paragraphes ajoutés et/ou modifiés sont précédés du caractère "|".

Sommaire

1 - Introduction

- 1.1 - Objet de ce cours*
- 1.2 - Prérequis*
- 1.3 - Réutilisation de ce cours*
- 1.4 - Décharge*
- 1.5 - Votre travail.*

2 - Une communication, comment ça marche ?

- 2.1 - Que faut-il pour dialoguer ?*
- 2.2 - Analogie de la parole*
- 2.3 - Et Internet dans tout ça ?*

3 - Définitions

- 3.1 - Le modèle OSI*
- 3.2 - L'encapsulation*
- 3.3 - Retour à Internet*

4 - La couche physique (couche 1)

- 4.1 - Le rôle de la couche 1*

5 - La couche liaison de données (couche 2)

- 5.1 - Les rôles de la couche 2*
- 5.2 - L'adressage des machines*
- 5.3 - Le protocole Ethernet*
- 5.4 - Format d'une trame Ethernet*
- 5.5 - Dialogue entre deux machines*

6 - La couche réseau (couche 3)

- 6.1 - Les rôles de la couche 3*
- 6.2 - Quelles adresses pour la couche 3 ?*
- 6.3 - Pourquoi encore une adresse alors que nous avons déjà l'adresse MAC ?*
- 6.4 - Comment déterminer qu'une machine est sur mon réseau ?*

- 6.5 - Qu'est ce que la table de routage ?*
- 6.6 - Qu'est-ce qu'une route par défaut ?*
- 6.7 - Mais si l'on met une route par défaut, peut-on en mettre plusieurs ?*
- 6.8 - Puis-je mettre l'adresse d'un routeur n'étant pas sur mon réseau comme passerelle ?*
- 6.9 - Vu que ma machine a plusieurs interfaces, dois-je avoir plusieurs tables de routage ?*
- 6.10 - Format d'un datagramme IP*
- 6.11 - Cas particulier des liaisons point à point*

7 - Les interactions entre les couches 2 et 3

- 7.1 - Trame et datagramme, qu'est-ce qui circule sur le réseau ?*
- 7.2 - L'organisation de l'encapsulation*
- 7.3 - Qu'est-ce que le protocole ARP ?*

8 - Dialogue entre deux machines distantes

- 8.1 - Présentation du dialogue*
- 8.2 - Emission du message par A*
- 8.3 - Réception du message par le routeur 1 intermédiaire*
- 8.4 - Réception du message par la machine B*
- 8.5 - Quelques remarques*

9 - Mini lexique

- 9.1 - Adresse IP*
- 9.2 - Réseau logique*
- 9.3 - Connexion/interconnexion*
- 9.4 - Sous-réseau*
- 9.5 - ARP*

10 - Annexes

- 10.1 - Ressources utilisées*
- 10.2 - Remerciements*
- 10.3 - Versions HTML, latex, pdf et doc disponibles*
- 10.4 - Faq sur la NAT*
- 10.5 - Faq sur les masques de sous-réseau*

11 - Conclusion

=====

1 - INTRODUCTION

1.1 - Objet de ce cours

Le but de ce document est de vous présenter comment les informations peuvent transiter d'un ordinateur à l'autre sur Internet. Nous nous limiterons aux aspects réseau du dialogue. Tous les aspects applicatifs seront donc mis de côté (gestion des noms de machines, protocoles applicatifs, etc.). L'étude se limitera donc aux couches 2 et 3 du modèle OSI, soit Ethernet et IPv4 dans notre cas. Oups... ces mots sont du charabia pour vous, je vous invite alors à continuer la lecture du document qui vous présentera plus en détail chacun de ces concepts évoqués.

1.2 - Prérequis

Pour une meilleure compréhension de ce cours, il sera nécessaire d'avoir quelques bases en ce qui concerne l'adressage IPv4 et les sous-réseaux. Pour cela, je vous conseillerai la lecture de la faq sur les masques de sous réseau disponible là: <http://www.lalitte.com/masques>

1.3 - Réutilisation de ce cours

Vous êtes libre d'utiliser de courts extraits de ce cours, dans la mesure où vous incluez un lien permettant d'avoir accès à l'ensemble du document. Ceci dans le but de permettre à vos lecteurs d'obtenir facilement un complément d'information. De même, vous êtes libre de copier ce cours dans son intégralité, à condition cependant d'en avertir l'auteur, et que cette utilisation soit exempte de tout caractère commercial (bannières publicitaires incluses). Cette restriction étant principalement due au plus élémentaire des respects : celui du temps que j'ai consacré à la rédaction de ce cours. Toute autre utilisation devra faire l'objet d'un accord préalable avec l'auteur.

1.4 - Décharge

L'auteur décline toute responsabilité concernant la mauvaise utilisation ou compréhension du document qui engendrerait l'écroulement de votre réseau ;-)

1.5 - Votre travail

La seule et unique tâche que je vous demanderai d'accomplir sera de corriger mes erreurs (aussi bien dans la cohérence des éléments avancés que pour l'orthographe), me donner des conseils sur ce qui est mal expliqué pour le rendre plus accessible, ajouter des éléments qui ont trait aux masques et rendent l'exposé plus complet, combler tout manque pour améliorer ce cours. Mais maintenant, entrons dans le vif du sujet...

2 - UNE COMMUNICATION, COMMENT CA MARCHE ?

2.1 - Que faut-il pour dialoguer ?

"Peux tu me passer le sel s'il te plait ?"

"Oui, tiens, le voici"

Il apparait souvent très simple de dialoguer, cependant, un dialogue nécessite une multitude de normes à mettre en place pour que chacun puisse s'exprimer et comprendre l'autre.

"Peux tu me passer le sel s'il te plait ?"

"Excuse me, but I don't understand what you're talking about"

"Pardon ? je te demande le SEL ! tu me comprends pas ou quoi ?"

Et bien non, il ne comprend pas puisqu'ils n'utilisent pas le même moyen pour communiquer. On voit donc qu'il est nécessaire de se mettre d'accord sur des normes pour pouvoir dialoguer.

2.2 - Analogie de la parole

Nous avons vu précédemment que deux personnes devaient utiliser la même langue pour se comprendre, ou du moins, que chacun d'eux comprenne la langue utilisée par l'autre.

Mais le dialogue par la parole ne se limite pas à cela. Le dialogue met en place deux interlocuteurs, chacun à leur tour émetteur puis récepteur. Ils doivent donc avoir chacun un moyen d'écouter, et un moyen de parler. Il faudra par ailleurs un moyen de transmission de l'information. L'émetteur sera les cordes vocales. Le récepteur le tympan. Le moyen de transmission sera les ondes sonores. Le support de transmission sera l'air. Il faudra aussi se mettre d'accord sur une langue à utiliser, qui elle-même sera régie par des règles, etc. Nous voyons donc qu'il est nécessaire de mettre en place tout un nombre de normes pour communiquer.

2.3 - Et Internet dans tout ça ?

Effectivement, vous ne voyez peut-être toujours pas le rapport que tout cela peut avoir avec Internet ? Et bien de la même façon que nous communiquons par la parole, nous souhaitons faire communiquer des machines par Internet. Si l'on suit le même raisonnement que précédemment, il apparaît nécessaire de mettre en place des normes permettant de décrire la façon dont les ordinateurs vont communiquer entre eux. Et effectivement, lors de la création d'Internet, un modèle décrivant les normes à mettre en place a été choisi, il s'agit du modèle OSI (Open Systems Interconnection).

3 - DEFINITIONS

Ce chapitre va nous permettre de présenter plusieurs notions qu'il sera nécessaire de bien comprendre pour pouvoir poursuivre la lecture du cours sans problèmes.

3.1 - Le modèle OSI

En se basant sur les observations précédentes, on voit que chacun des éléments en jeu (tympans, cordes vocales, etc..) remplit une tâche particulière. Le modèle OSI est basé sur ce principe. Il part de l'observation des tâches que nous avons à accomplir et associe ces tâches à des couches. Le modèle est organisé en sept couches ayant chacune un ou plusieurs rôles précis.

Représentation:

- Couche 7: Application
- Couche 6: Présentation
- Couche 5: Session
- Couche 4: Transport
- Couche 3: Réseau
- Couche 2: Liaison de données
- Couche 1: Physique

Chaque couche a donc un rôle précis séparé des autres. Les couches peuvent communiquer avec les couches directement adjacentes (la couche 2 pourra avoir des échanges avec les couches 1 et 3). Ainsi, l'utilisation de l'ensemble de ces couches permet de réaliser une suite de tâches qui, regroupées, permettent la communication. Un message à envoyer parcourt les couches de la couche 7 à la couche 1 qui représente le support de transmission. L'analogie avec la parole serait le cerveau qui crée le message de la couche 7, jusqu'au support de transmission qui est l'air et qui représente la couche 1.

Tout cela en passant par les couches intermédiaires représentées par les nerfs, les cordes vocales, les ondes, etc. Chacune des couches formate donc bien le message et l'envoie à la couche suivante (du cerveau aux nerfs, des nerfs aux cordes vocales, etc.)

3.2 - L'encapsulation

Au cours de son passage par chacune des couches, des informations relatives à chacune d'entre elles sont ajoutées pour lui permettre d'effectuer la tâche qui lui incombe, on appelle cela l'en-tête. Cela permet d'avoir un certain nombre d'informations nécessaires à chaque couche pour effectuer son travail, et que ces informations circulent avec le message à transmettre.

```
+++++
couche 7 | Info à transmettre |
+++++

+++++
couche 6 | en-tête couche 6 | Info à transmettre |
+++++

+++++
couche 5 | en-tête 5 | en-tête 6 | Info à transmettre |
+++++
```

... et ainsi de suite ... jusqu'au paquet final

```
+++++  
Couche 1 | en-tête 1 | ... | e-t 5 | en-tête 6 | Info |  
+++++
```

Chaque couche ajoute donc sa propre en-tête à l'information d'origine. Ce procédé s'appelle l'encapsulation. Ces notions seront présentées plus en détail par la suite. Lorsqu'une machine reçoit le message, il parcourt les couches dans le sens inverse, de la couche 1 à la couche 7 qui représente l'application qui doit recevoir le message. De la même façon que lors de la réception d'un message auditif (ondes transportées par l'air, qui font vibrer les tympans, les tympans envoient l'information reçue par l'intermédiaire des nerfs au cerveau)

3.3 - Retour à Internet

Maintenant que nous connaissons le modèle en couche et les principes qu'il représente, nous allons pouvoir nous pencher sur l'implémentation de ce modèle en couches pour la communication de machines sur Internet. Dans ce document, nous présenterons les couches 2 et 3 qui permettent d'acheminer les données d'un ordinateur à un autre. La couche 2 permet à deux machines directement connectées de dialoguer, on dit alors que les machines sont sur un même réseau (avec la définition de réseau présentée dans le lexique) La couche 3 permet le dialogue entre réseaux, ce que l'on appelle le routage.

On remarque ainsi que deux machines sur un même réseau pourront dialoguer directement, mais pour parler à une machine située sur un réseau distant, il faudra passer par des machines intermédiaires qui feront la liaison entre les réseaux (on appellera ces machines intermédiaires des routeurs)

4 - LA COUCHE PHYSIQUE (COUCHE 1)

4.1 - Le rôle de la couche 1

Nous ne nous attarderons pas longtemps sur la couche 1 car son rôle est simple et ne demande pas de connaissance particulières (du moins, si l'on n'entre pas dans les détails ;-)

La couche 1 concerne le support physique de transport des données. Cela peut aller du simple câble transportant un signal électrique, à la fibre optique, en passant par les ondes radio. Le rôle de la couche 1 est donc d'offrir un support de transmission permettant d'acheminer les données d'un point à un autre.

5 - LA COUCHE LIAISON DE DONNEES (COUCHE 2)

5.1 - Les rôles de la couche 2

La couche liaison de données a pour rôle de transmettre les données de façon fiable entre des équipements directement connectés. D'autres rôles lui incombent, mais leur connaissance ne nous sera pas utile pour comprendre le transport des informations. Nous allons donc voir dans ce chapitre comment deux machines directement liées vont faire pour dialoguer. Sur un réseau, il y

a souvent plusieurs machines connectées, il faut alors pouvoir les différencier les unes par rapport aux autres. Pour cela, nous allons les identifier individuellement grâce à des adresses.

5.2 - L'adressage des machines

Pour la couche 2, ce sont les adresses MAC. Les adresses MAC sont codées sur 6 octets, soit 48 bits donc $2^{48} = \dots$ plusieurs milliers de milliards d'adresses possibles ! Elles sont la plupart du temps écrites par octet sous forme hexadécimale, séparés par le caractère ":" Ce qui donne par exemple 3C:AB:35:48:FF:D2 qui est une adresse MAC. Nous pouvons ainsi identifier chaque interface de machine individuellement. Il nous faut maintenant définir les règles qui permettront aux machines de dialoguer. Pour cela nous allons définir un protocole.

5.3 - Le protocole Ethernet

Le protocole Ethernet définit le format des messages échangés. Le message de base utilisé par Ethernet est la trame. La trame est composée d'un en-tête et d'une "charge utile" contenant les informations à transmettre. L'en-tête Ethernet contient les informations nécessaires au bon fonctionnement de la couche 2 qui pourront permettre la transmission des informations. Nous y retrouvons notamment les adresses MAC des machines participant au dialogue.

5.4 - Format d'une trame Ethernet

La description suivante ne prend en compte que les informations qui nous intéressent et n'est pas le format complet d'une trame Ethernet. La trame est composée d'une en-tête contenant les informations du protocole Ethernet, et d'un payload contenant les informations à transporter.

Trame Ethernet

```
+++++-----  
| En-tête Ethernet | Informations à transporter |  
+++++-----
```

Nous allons voir plus en détail ce que contient l'en-tête Ethernet.

En-tête Ethernet

```
+++++  
| @ MAC source | @ MAC destination | Protocole sup |  
+++++
```

L'adresse MAC source est l'adresse de la machine qui envoie la trame. L'adresse MAC destination est celle de la machine qui doit recevoir la trame (jusqu'ici ce n'est pas bien sorcier :-). Le protocole sup. est le protocole utilisé par la couche supérieure (la couche 3 dans notre cas puisque Ethernet est un protocole de couche 2) Ceci est utile car quand la couche 2 reçoit le message, elle doit savoir à quel protocole de couche 3 envoyer les informations reçues (il est possible sur une machine d'utiliser plusieurs protocoles pour une même couche).

5.5 - Dialogue entre deux machines

Prenons l'exemple d'une machine A qui veut envoyer le message "Bonjour" à une machine B située sur le même réseau. Il lui suffit de connaître l'adresse MAC de B pour lui envoyer le message. Ainsi, en lui envoyant la trame suivante, elle devrait pouvoir lui envoyer le message:

```
+++++-----
| @MAC A | @MAC B | protocole sup | XXXXX | Bonjour |
+++++-----
```

B reçoit la trame et voit que c'est son adresse MAC qui est en destination, elle lit donc le reste des informations. Il s'agit des informations des couches supérieures (XXXXX), et enfin, du message "Bonjour".

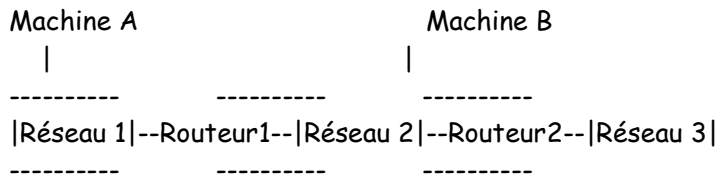
Nous avons donc réussi grâce à la couche 2 à faire dialoguer deux machines connectées sur un même réseau. Nous allons maintenant voir comment faire communiquer deux machines appartenant à des réseaux différents.

6 - LA COUCHE RESEAU (COUCHE 3)

6.1 - Les rôles de la couche 3

La couche réseau a pour rôle d'acheminer les informations d'un réseau à un autre. C'est ce que l'on appelle le routage. Les réseaux sont donc reliés entre eux par des machines que l'on appelle routeurs. Ces routeurs vont donc recevoir les paquets sur un réseau, et les renvoyer sur l'autre. Ils ont donc une connexion sur chaque réseau. Tous les réseaux ne pouvant pas être reliés entre eux, il va souvent falloir passer par des réseaux intermédiaires pour pouvoir envoyer un paquet d'un réseau à un autre. La couche réseau a d'autres fonctionnalités auxquelles nous ne nous intéresserons pas ici.

Principe de fonctionnement:



Lorsque la machine A veut envoyer un message à B, le paquet va d'abord passer par le réseau 1. Puis le routeur 1 qui est connecté à ce réseau va le récupérer pour le renvoyer vers le réseau 2, et ainsi de suite jusqu'au réseau 3 où la machine B va pouvoir le recevoir.

Cela est bien joli, mais comment ça marche ? Comment le routeur 1 sait-il qu'il faut envoyer le paquet sur le réseau 2 pour qu'il puisse atteindre B ??? Et puis on sait maintenant envoyer une trame d'une machine à une autre sur un même réseau, mais sur deux réseaux différents ?

Nous allons essayer de répondre à ces questions dans les paragraphes suivants.

6.2 - Quelles adresses pour la couche 3 ?

Je vous invite à lire le paragraphe 2.2 de la Faq sur les masques pour comprendre l'intérêt de l'adresse IP et du masque qui lui est associé. Une adresse IP est donc codée sur 4 octets. Elle s'écrit en décimal séparés par des points. Par exemple, 192.168.0.1 est une adresse IP.

6.3 - Pourquoi encore une adresse alors que nous avons déjà l'adresse MAC ?

Il est nécessaire de différencier les adresses de couche 2 et de couche 3, car l'adressage au niveau de chacune de ces couches n'a pas le même rôle. L'adressage MAC en couche 2 permet d'identifier les machines SUR UN MEME RESEAU. L'adressage IP en couche 3 permet d'adresser les machines SUR DES RESEAUX DISTINCTS. Peut-on alors utiliser pour ces deux couches une seule de ces deux adresses ? La réponse est malheureusement non. Les adresses de couche 2 sont en rapport avec le matériel réseau utilisé (le protocole de couche 2 est géré au niveau de la carte connectée au réseau et non pas par le système d'exploitation comme les couches supérieures) il est donc difficile de modifier les adresses MAC qui sont censées être codées directement sur la carte réseau. Cela est notamment du au fait que chaque adresse MAC doit être unique sous peine de conflit matériel, et que cette adresse doit être accessible très tôt lors du boot d'une machine. Les adresses de couche 3 quant à elles demandent une certaine souplesse d'utilisation car on ne connaît pas à priori l'adresse du réseau sur lequel une machine va se trouver. Il y a donc une incompatibilité d'utilisation d'une adresse de couche 2 pour une adresse de couche 3, et vice versa. Enfin, les protocoles réseau évoluant au fil du temps, il est nécessaire que chaque couche soit indépendante des autres. Il y a d'autres raisons qui nous obligent à utiliser des adresses différentes pour des couches différentes, mais ceci n'étant pas partie intégrante du sujet, nous ne nous y attarderons pas ici, d'autant plus que les arguments présentés devraient vous avoir convaincus :-)

6.4 - Comment déterminer qu'une machine est sur mon réseau ?

Si vous avez compris la Faq sur les masques de sous réseau, vous savez que le masque permet notamment à une machine de savoir quelles sont les autres machines de son réseau.

Ainsi, quand une machine veut dialoguer avec une autre, elle va d'abord regarder si cette machine est sur son propre réseau, ou si elle va devoir passer par des routeurs intermédiaires pour lui envoyer son paquet. Ceci va être possible grâce à la table de routage.

6.5 - Qu'est ce que la table de routage ?

La table de routage est un regroupement d'informations permettant de déterminer le prochain routeur à utiliser pour accéder à un réseau précis sur lequel se trouvera la machine avec laquelle nous souhaitons dialoguer. Ainsi, si l'on reprend l'exemple du §6.1, le routeur 1 doit savoir que pour atteindre le réseau 1, il devra envoyer les informations sur son interface de gauche sur le schéma, que pour atteindre le réseau 2, il devra envoyer les informations sur son interface de droite, et enfin, pour atteindre le réseau 3, il devra envoyer les informations sur son interface de droite vers le routeur 2. La table de routage doit pouvoir regrouper toutes ces informations. Elle les regroupe par ligne en indiquant pour un réseau donné par où il faut passer. Pour le routeur 1 par exemple, sa table de routage doit être:

vers réseau 1 -> utiliser interface gauche
vers réseau 2 -> utiliser interface droite
vers réseau 3 -> utiliser interface droite vers routeur 2

En fait, la réalité est un peu plus précise. Les interfaces peuvent être identifiées par leurs adresses ou leur type, et les réseaux sont identifiés par l'adresse du réseau et le masque associé.

Ainsi, cela se traduit en:

Réseau	Masque	Interface	Passerelle
192.168.0.0	255.255.255.0	ethernet 1	ethernet 1
172.16.0.0	255.255.0.0	ethernet 2	ethernet 2
10.0.0.0	255.0.0.0	ethernet 2	172.16.0.254

Où 192.168.0.0, 172.16.0.0 et 10.0.0.0 représentent les réseaux 1, 2 et 3. Et 172.16.0.254 représente l'adresse de l'interface de gauche du routeur 2. Ainsi, pour atteindre la machine d'adresse 10.0.0.45 située sur le réseau 3, le routeur va voir dans la table de routage quelle entrée correspond au réseau contenant cette adresse. Il s'agit du réseau 10.0.0.0/255.0.0.0, et pour atteindre ce réseau, il est dit d'envoyer le paquet par l'interface Ethernet 2, vers l'adresse 172.16.0.254. Et voilà !

Ce système semble très bien, mais on en voit vite les limites sachant que le réseau Internet est composé de plusieurs millions de réseaux... Cela voudrait dire qu'il faut connaître la route vers chacun de ces réseaux pour pouvoir dialoguer avec eux. Heureusement, une solution a été mise en place pour répondre à ce problème. Il s'agit de la route par défaut.

6.6 - Qu'est-ce qu'une route par défaut ?

La route par défaut est la route qui sera utilisée lorsque aucune route spécifique pour aller vers la destination spécifiée n'aura été trouvée. Ainsi, dans le cas précédent, si je voulais atteindre l'adresse 193.253.25.46, aucune entrée de ma table de routage ne m'aurait indiqué comment y aller... Ce qui fait que ma machine n'aurait pas su vers qui envoyer le paquet et qu'il serait allé directement à la poubelle :- (En indiquant en plus une route par défaut, cela aurait permis à ma machine d'avoir une destination, même quand aucune entrée de la table de routage ne correspondait à l'adresse demandée. J'aurais donc envoyé mon paquet vers ma route par défaut, en fait vers le prochain routeur à utiliser, et c'est ce prochain routeur qui se serait occupé de continuer à router le paquet. Si lui non plus n'avait pas eu de route spécifiée pour l'adresse de destination demandée, il aurait envoyé le paquet à son propre routeur par défaut, et ainsi de suite jusqu'à tomber sur un routeur connaissant la route ! Cela peut sembler un peu aléatoire comme stratégie, mais aujourd'hui, Internet est fait de telle façon que les routeurs qui le composent connaissent les routes vers toutes les destinations. Cela est mis en place grâce à des protocoles évolués permettant d'échanger des informations de routage en temps réel ! Mais ceci sort un peu de notre objectif :-) La table de routage pour le routeur 1 devient alors:

Réseau	Masque	Interface	Passerelle
192.168.0.0	255.255.255.0	Ethernet 1	Ethernet 1
172.16.0.0	255.255.0.0	Ethernet 2	Ethernet 2
10.0.0.0	255.0.0.0	Ethernet 2	172.16.0.254
Défaut	0.0.0.0	Ethernet 2	172.16.0.254

Cette ligne peut parfois être aussi écrite:

0.0.0.0	0.0.0.0	Ethernet 2	172.16.0.254
---------	---------	------------	--------------

NB: On peut se rendre compte dans notre exemple que la route vers le réseau 10.0.0.0 n'est plus nécessaire, vu que la route par défaut pointe vers le même routeur.

6.7 - Mais si l'on met une route par défaut, peut-on en mettre plusieurs ?

Cela n'a pas d'intérêt dans l'absolu, et sera traité différemment selon les systèmes. Disons qu'une table de routage normale ne devrait avoir qu'une route par défaut.

6.8 - Puis-je mettre l'adresse d'un routeur n'étant pas sur mon réseau comme passerelle ?

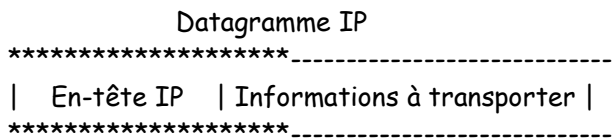
Non ! Et d'ailleurs, cela n'aurait pas de sens, puisqu'une passerelle est censée nous indiquer un chemin pour sortir de notre réseau. Si on indique l'adresse d'une machine en dehors de notre réseau, c'est que l'on en est déjà sorti ! La conséquence est que les passerelles indiquées dans une table de routage devront toujours appartenir à mon propre réseau, ou du moins, à l'un des réseaux auxquels appartiennent mes interfaces, si j'en ai plusieurs.

6.9 - Vu que ma machine a plusieurs interfaces, dois-je avoir plusieurs tables de routage ?

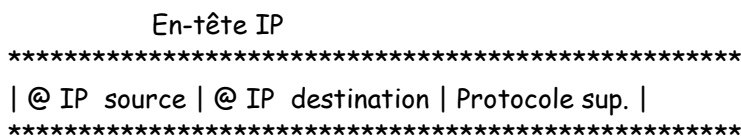
Là encore la réponse est non. La table de routage est censée contenir toutes les informations de routage pour votre machine (ou routeur) quel que soient le nombre d'interfaces. D'ailleurs, vous avez pu voir dans la table de routage du routeur 1 que les routes contenaient des informations sur ses deux interfaces. Il existe cependant des fonctions avancées de routage avec plusieurs tables, mais nous n'en sommes pas là ;-) Mais maintenant que nous savons comment une machine fait pour aiguiller un paquet, il nous reste à savoir quelles informations de couche 3 ce paquet devra contenir pour que le routage puisse être effectué. Le message de base utilisé par IP est le datagramme.

6.10 - Format d'un datagramme IP

De la même façon qu'avec Ethernet, la couche IP (couche 3) va nécessiter un certain nombre d'informations pour pouvoir effectuer les tâches qui lui incombent comme le routage. A la manière de la trame Ethernet, le datagramme IP se compose d'un en-tête IP, et d'un payload contenant
Les informations à transporter.



Nous allons voir plus en détail ce que contient l'en-tête IP, même si nous ne décrivons pas l'ensemble de l'en-tête, mais juste les informations qui nous intéressent.



Celle-ci ressemble fort à ce que nous avons vu précédemment pour Ethernet, nous ne détaillerons donc pas son contenu. Maintenant que nous avons décrit la couche 3, nous allons pouvoir voir plus en détail comment se fait l'interface avec la couche 2.

6.11 - Cas particulier des liaisons point à point

Il existe cependant des cas où l'utilisation d'une table de routage est un peu différente, et où la précision d'une passerelle n'est pas nécessaire. C'est quand deux machines sont reliées directement l'une à l'autre. On parle alors de liaison point à point. Dans ce cas, nous sommes sûrs qu'un paquet envoyé par une des machines à une extrémité de la connexion va être reçu par l'autre machine. Il suffit alors dans la table de routage de spécifier l'interface de sortie.

7 - LES INTERACTIONS ENTRE LES COUCHES 2 ET 3

7.1 - Trame et datagramme, qu'est-ce qui circule sur le réseau ?

Et bien oui, nous avons vu que les couches 2 et 3 avaient chacune leur propre format de message utilisé pour transporter l'information, mais le quel des deux circule vraiment sur le réseau ? Si nous répondons la trame, cela voudra dire que notre trame sera contrainte de rester sur le réseau local, puisque la couche 2 ne permet pas d'aller d'un réseau à l'autre. Si nous répondons le datagramme, de la même façon, nous ne serons pas capables de dialoguer avec les machines de notre réseau, et donc pas avec les routeurs à utiliser pour aller vers d'autres réseaux. Donc la réponse semble être: ni l'un ni l'autre...Ou plutôt: l'un et l'autre !

Effectivement, nous avons parlé au §3.2 d'encapsulation des informations. C'est exactement le principe qui va être utilisé ici. Les informations de couche 2 et 3 vont être mises ensemble avec les informations à transmettre. Le paquet ainsi formé contiendra ainsi l'ensemble des informations nécessaires au transport de l'information. C'est donc une trame qui circulera sur le réseau, et cette trame Ethernet contiendra le datagramme IP.

```
+++++
| en-tête 2 | e-t 3 | ... | en-tête 6 | Info |
+++++
<----- Datagramme IP ----->
<----- Trame Ethernet ----->
```

Maintenant, comment est organisée cette encapsulation pour que chaque couche retrouve facilement ses informations ?

7.2 - L'organisation de l'encapsulation

Comme nous l'avons vu au §3.2, lors de l'émission d'une information, chaque couche ajoute son en-tête. Le paquet final ainsi formé contient donc les informations de toutes les couches, ainsi que l'information d'origine. La dernière couche ayant apporté son en-tête est la couche 2 (la couche 1 n'a pas besoin d'apporter de l'information, ou du moins, cela est transparent pour nous)

Ainsi, quand le paquet arrive à sa destination, ce sont les informations de couche 2 qui sont accessibles en premier, et ça tombe bien puisque ce sont elles dont nous avons besoin en premier pour recevoir le message !

La réception d'un message se passe donc ainsi:

La carte réseau de ma machine reçoit la trame suivante

```
+++++  
Couche 2 | en-tête 2 | e-t 3 | ... | en-tête 6 | Info |  
+++++
```

La couche 2 regarde l'adresse MAC de destination et si cela correspond bien à notre machine, elle envoie les informations à la couche 3 en prenant soin d'enlever l'en-tête Ethernet, qui ne servira plus.

```
+++++  
Couche 3 | en-tête 3 | e-t 4 | ... | en-tête 6 | Info |  
+++++
```

De la même façon, la couche 3 regarde l'adresse IP de destination, et si cela correspond bien à UNE DES adresses IP de notre machines, elle envoie les informations à la couche 4, et ainsi de suite. Si par contre, le datagramme est à destination d'une autre adresse IP, notre machine va router ce paquet vers sa vraie destination (cela n'est vrai que si le routage est activé sur la machine, mais c'est normalement le cas pour un routeur :-)

En fin de chaîne, l'application impliquée dans le dialogue va recevoir les informations qu'elle attend:

```
+++++  
couche 7 | Info à transmettre |  
+++++
```

Tout cela semble marcher parfaitement comme une machine bien huilée. Cependant, il nous manque encore quelques informations pour pouvoir avoir une compréhension globale du fonctionnement du routage. Par exemple, nous savons déterminer l'adresse IP du prochain routeur à utiliser, mais c'est de l'adresse MAC dont nous avons besoin pour dialoguer avec lui directement sur notre réseau... Il faut donc pouvoir récupérer une adresse MAC en fonction d'une adresse IP. Pour cela, nous allons devoir utiliser un protocole particulier, dédié à cette fonction, que l'on appelle ARP.

7.3 - Qu'est-ce que le protocole ARP ?

Le protocole ARP permet d'obtenir une adresse MAC en fonction d'une adresse IP.

Reprenons notre problème. Le routeur 1 veut envoyer un paquet vers l'adresse 10.0.0.45 du réseau 3. Comme nous l'avons vu précédemment, le routeur regarde dans sa table de routage pour savoir où il va devoir envoyer le paquet. La table de routage lui dit que pour atteindre le réseau 10.0.0.0/255.0.0.0 qui contient l'adresse 10.0.0.45, il faut passer par le routeur dont l'une des adresses d'interface est 172.16.0.254. Le nouveau travail du routeur est donc d'envoyer le paquet vers 172.16.0.254. Cette adresse IP étant sur son propre réseau (notre routeur a une interface dans le réseau 172.16.0.0./255.255.0.0), il faut connaître son adresse

MAC pour pouvoir lui envoyer le paquet. Pour connaître son adresse MAC, l'idéal serait de lui demander, mais pour lui demander, il faudrait connaître son adresse MAC !!!

Et on tourne en rond :- (Vu qu'aucune autre machine du réseau n'est censée connaître l'adresse MAC de 172.16.0.254, nous ne pouvons pas non plus leur demander. Il faut donc trouver un moyen de s'adresser à l'adresse MAC de 172.16.0.254 sans la connaître !

Et si vous vous rappelez bien du cours sur les masques de sous réseau, vous avez peut-être deviné que nous avons un mécanisme à notre disposition nous permettant de faire cela...

Il s'agit du principe de broadcast ! En envoyant ma question à tout le monde, je suis sûr que la machine 172.16.0.254 va le recevoir. Je peux donc envoyer à tout le monde ma requête ARP demandant:

- Qui a l'adresse IP 172.16.0.254 ? et quelle est son adresse MAC ?
- Toutes les machines reçoivent cette question, mais seule 172.16.0.254 va me répondre:
- Je suis 172.16.0.254 et mon adresse MAC est 04:CF:65:84:C5:E2

J'ai ainsi pu récupérer l'adresse MAC de 172.16.0.254, et je peux désormais lui envoyer le paquet à transmettre. Nous avons ainsi réussi à faire la liaison souhaitée entre l'adresse IP connue et l'adresse MAC recherchée :-) Une question se pose quand même, car si toutes les machines doivent envoyer des messages à tout le monde à chaque fois qu'elles souhaitent communiquer, on va vite encombrer le réseau...

Pour répondre à ce problème, ARP utilise une solution de cache local. C'est à dire que lorsqu'une requête ARP va être effectuée, la réponse à cette requête va être gardée pendant un certain temps pour pouvoir être réutilisée. Ce temps est paramétrable, et est souvent de l'ordre de quelques minutes. Ainsi, si mes machines continuent de dialoguer ensemble, il n'y aura plus besoin de faire des broadcasts ARP, il suffira d'aller chercher dans le cache ARP l'information.

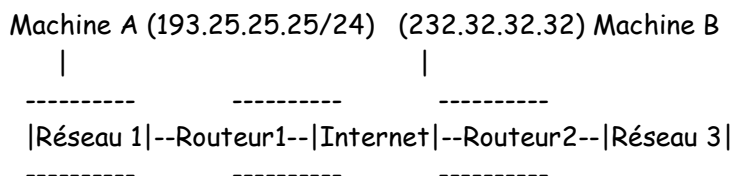
D'ailleurs, le fonctionnement de ARP veut que le système aille d'abord regarder dans le cache ARP si l'information s'y trouve, avant de faire le broadcast ARP (ce qui semble normal :-)

Bon, et bien nous avons maintenant en notre possession toutes les connaissances devant nous permettre de comprendre en partie le dialogue entre deux machines distantes. Allons-y !

8 - DIALOGUE ENTRE DEUX MACHINES DISTANTES

8.1 - Présentation du dialogue

Nous allons reprendre le même type de schéma que nous avons vu précédemment, avec une machine A souhaitant envoyer un message à une machine B sur Internet.



Interface gauche routeur 1: 193.25.25.254/24

Interface droite routeur 1: 140.40.40.14/28

La partie Internet n'est pas mise en détail mais représente quelques de routeurs successifs avant le routeur 2.

NB: Comme petit exercice, vous pouvez vous demander pourquoi je n'ai pas précisé le masque de sous réseau pour la machine B ?

8.2 - Emission du message par A

La machine A veut envoyer le message "bonjour" à B. Comme nous l'avons vu à travers le modèle OSI, ce message va traverser les différentes couches du modèle pour que chacune y apporte l'information nécessaire à l'accomplissement de sa tâche. Dans le modèle TCP/IP utilisé sur Internet, les couches 5 et 6 ne sont pas utilisées (on peut en déduire que les fonction effectuées par ces couches ne sont pas nécessaires, ou qu'elles sont prises en charge par une autre couche) Le message passe donc par la couche 4 qui, une fois son en-tête ajoutée, envoie le paquet à la couche 3. La couche 3 reçoit le paquet (segment TCP) et l'adresse de destination 232.32.32.32. Elle va voir dans sa table de routage (celle de la machine sur laquelle on est, cad A) à qui envoyer les informations.

Table de routage de A:

Réseau	Masque	Interface	Passerelle
193.25.25.0	255.255.255.0	Ethernet 1	Ethernet 1
Défaut	0.0.0.0	Ethernet 1	193.25.25.254

Elle n'a pas de route spécifique pour l'adresse 232.32.32.32, ce sera donc la route par défaut qui sera utilisée. A doit donc maintenant envoyer le paquet à l'interface 193.25.25.254 du routeur 1. A retourne voir dans sa table de routage par quel interface sortir pour envoyer le Datagramme à 193.25.25.254. Elle doit maintenant connaître l'adresse MAC de l'interface 193.25.25.254. Pour cela, elle va voir dans son cache ARP si elle ne trouve pas l'information. Si c'est le cas, elle connaît l'adresse MAC, sinon, il faut qu'elle fasse un broadcast ARP pour la trouver. Maintenant que la couche 3 connaît l'adresse MAC destination, elle peut envoyer le datagramme IP (en-tête IP + segment TCP) et l'adresse MAC destination à la couche 2.

```
En-tête IP
*****_-----
| IP SRC 193.25.25.25 | IP DST 232.32.32.32 | ps | infos |
*****_-----
<-----Datagramme IP----->
```

La couche 2 reçoit le datagramme et y ajoute son en-tête Ethernet. La trame est maintenant prête à être envoyée sur le réseau.

```
En-tête Ethernet
+++++-----
| MACSRC MAC A | MACDST MAC 193.25.25.254 | ps | infos |
+++++-----
<-----Trame Ethernet----->
```

La trame circule sur le réseau jusqu'à sa destination qui est l'adresse MAC de 193.25.25.254.

8.3 - Réception du message par le routeur 1 intermédiaire

Le routeur 1 intermédiaire reçoit la trame. La couche 2 regarde l'adresse MAC en destination, et comme c'est l'adresse MAC de l'interface 193.25.25.254, le datagramme IP est envoyé à la couche 3. La couche 3 reçoit le datagramme et regarde l'adresse IP de destination. Ce n'est l'adresse d'aucune des interfaces du routeur 1, donc le paquet devra être routé vers sa destination. Le routeur va donc voir sa table de routage pour voir vers qui renvoyer le paquet.

Table de routage du routeur 1:

Réseau	Masque	Interface	Passerelle
193.25.25.0	255.255.255.0	ethernet 1	ethernet 1
140.40.40.0	255.255.255.240	ethernet 2	ethernet 2
défaut	0.0.0.0	ethernet 2	140.40.40.13

Il n'y a pas de route spécifique pour l'adresse 232.32.32.32. C'est donc la route par défaut qui sera utilisée. La prochaine machine à qui envoyer le paquet est donc 140.40.40.13. Le routeur retourne voir dans sa table de routage par quel interface sortir pour atteindre 140.40.40.13. C'est la seconde ligne de la table qui contient l'information et l'interface à utiliser est l'interface 2. De la même façon que précédemment, il faut trouver son adresse MAC pour lui envoyer la trame contenant les informations nécessaires. On la trouve facilement grâce aux mécanismes ARP. Le routeur 1 peut donc envoyer la trame vers le prochain routeur. Nous n'allons pas détailler la suite, le passage par chaque routeur étant identique à celui-ci. Les informations arrivent donc jusqu'au routeur 2 grâce aux mécanismes de routage d'Internet :-)

Celui-ci va comme précédemment renvoyer le paquet qui ne lui est pas destiné vers la machine B qui est sur son réseau.

8.4 - Réception du message par la machine B

La trame arrive donc sur l'interface de la machine B. L'adresse MAC en destination est bien celle de cette interface (Cette adresse MAC aura été trouvée grâce au mécanisme ARP mis en oeuvre par le routeur 2, vous suivez bien ?) La couche 2 renvoie donc le datagramme IP à la couche 3 IP. La couche 3 reçoit le datagramme et regarde l'adresse IP de destination. C'est bien l'adresse d'une des interfaces de la machine ! La couche 3 va donc pouvoir envoyer les informations à la couche 4, qui enverra elle-même le message "bonjour" à la couche 7 applicative.

Et hop, nous avons réussi ainsi à envoyer le message "bonjour" de la machine A à la machine B !!! Magisme...

Bien sûr, certains points n'ont pas été détaillés et demandent des connaissances plus poussées pour pouvoir être expliqués. Mais cela fera l'objet d'un autre cours ;-)

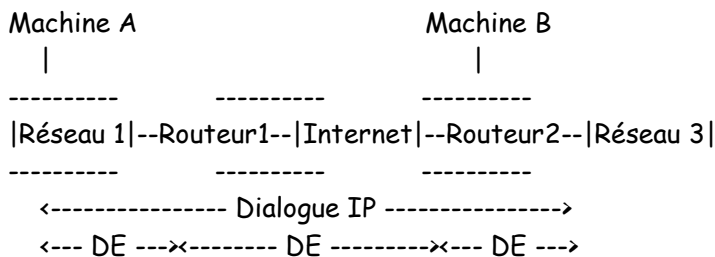
8.5 - Quelques remarques

Et bien oui, même si tout s'est bien déroulé dans notre dialogue, et que vous avez tout parfaitement compris, il est bon de mettre en valeur certains aspects de la communication.

- Les adresses MAC source et destination sont modifiées à chaque passage par un routeur. Oui, et c'est normal. Ces adresses MAC sont relatives à la couche 2 dont le rôle principal est le dialogue sur un réseau local. Donc les adresses MAC utilisées dans une trame doivent être en relation avec le réseau sur lequel on se situe, pas celui d'à côté ;-)

Que se passerait-il si une adresse MAC de destination était celle d'une interface étant sur un autre réseau ? Ca ne marcherait plus :-(car la trame serait envoyée sur le réseau local (en couche 2) et ne trouverait pas de machine ayant cette adresse MAC. La trame serait donc perdue. Les adresses MAC contenues dans une trame Ethernet doivent donc toujours être en rapport avec le réseau local. C'est ce qui explique qu'elles doivent être modifiées à chaque passage sur un nouveau réseau.

- Par contre, les adresses IP source et destination n'ont pas été modifiées durant le transport de A à B. Oui, et cela est encore normal ! La couche 3 concerne les informations de routage, donc sur des adresses appartenant à des réseaux distants. Ces adresses représentent donc les deux extrémités du dialogue et ne doivent pas être modifiées. Que se serait-il passé si on avait modifié les adresses IP source et destination à chaque passage d'un routeur ? Ici encore, nous aurions eu des problèmes. Le datagramme IP serait bien arrivé jusqu'au routeur 1, et lui l'aurait renvoyé vers le prochain routeur sur Internet en mettant comme adresse IP destination 140.40.40.13. Le routeur ayant cette adresse 140.40.40.13 aurait bien reçu le datagramme, mais voyant que c'était lui l'adresse IP de destination, il aurait pris le paquet pour lui et la communication se serait arrêtée là (la couche 4 n'aurait pas reconnu ce paquet comme appartenant à une connexion valide) et badaboum... Il est donc impératif de ne pas modifier les adresses IP lors du transport du datagramme. Le dialogue IP se fait de bout en bout entre les réseaux distants, alors que le dialogue Ethernet se fait de proche en proche sur chacun des réseaux traversés. Voici un petit dessin pour schématiser les deux principes que nous venons d'évoquer.



Avec DE = Dialogue Ethernet

NB: Il est cependant possible que les adresses IP source et destination soient modifiées dans le cas de la traduction d'adresse. Ceci ne faisant pas partie intégrante du sujet, je vous invite à lire la Faq sur la Nat (traduction d'adresse)

<http://www.lalitte.com/nat>

- Une autre remarque que nous pouvons faire, est la foutitude d'étapes qui ont été utilisées pour un simple envoi de "bonjour"

Et encore, ce n'est rien, en rentrant plus dans le détail, il y a encore bon nombre d'autres communications que nous n'avons pas détaillées qui sont nécessaires au dialogue.

Et dire que tout cela se fait en quelques millisecondes et est complètement transparent pour l'utilisateur final... C'est quand même bô Internet :-))

9 - MINI LEXIQUE

9.1 - Adresse IP

L'adresse IP est un numéro codé sur 4 octets permettant d'identifier une machine de façon unique sur le réseau.

9.2 - Réseau logique

On appelle réseau logique un ensemble d'adresses IP appartenant à une même plage d'adresses. Cette plage est notamment définie par l'adresse de réseau et le masque associé.

9.3 - Connexion/interconnexion

Ces deux termes sont souvent employés indifféremment, à tort ! On parle de *_connexion_ de _machines_* au sein d'un même réseau, et d'*_interconnexion_ de _réseaux_* entre eux.

La connexion se rapporte alors à une notion de couche 2, alors que l'interconnexion est une notion de couche 3.

9.4 - Sous réseaux

On définit un sous-réseau comme un sous-ensemble d'une plage d'adresses réseau. C'est grâce au masque que l'on peut définir un sous-réseau au sein d'un réseau, et ainsi découper un réseau en plusieurs sous-réseaux.

9.5 - ARP

ARP est un protocole permettant de déterminer une adresse MAC en fonction d'une adresse IP.

10 - ANNEXES

10.1 - Ressources utilisées

Je me suis inspiré des connaissances que j'ai pu glaner un peu partout depuis que je fais du réseau, sans m'appuyer sur un document en particulier. Je dois cependant avouer que j'en ai beaucoup appris depuis que je donne des cours en école d'ingénieur et qu'il faut répondre aux multiples questions de ces petites têtes blondes :-). Ça m'a permis de me remettre en question et d'approfondir des sujets que je pensais maîtriser. La route vers le savoir est encore longue ! :-)

Pour aller plus loin sur le sujet, je vous conseillerai la lecture du livre de Richard Stevens "Le TCP/IP illustré" qui est une mine d'or pour comprendre les mécanismes TCP/IP.

Et sans oublier l'excellente Faq sur les firewalls de Stéphane Catteau dont je me suis inspiré pour la mise en forme.

Disponible sur: <<http://fr.comp.securite.free.fr/firewall.txt>>

N'hésitez pas à la consulter, on y apprend plein de choses.

10.2 - Remerciements

Je remercie notamment les personnes suivantes pour leur lecture assidue du cours durant sa réalisation et leurs conseils précieux.

David Blevin, Eric Belhomme, Annie D.

10.3 - Versions HTML, latex, pdf ou doc disponibles

Il n'y a pas encore de version latex, pdf ou doc disponible, mais je ne doute pas qu'une bonne âme va passer par là et aura le courage de s'y coller :-). Toute traduction du document est aussi bienvenue !!!

10.4 - Faq sur la NAT

Si cette Faq vous a plu et que vous avez appris des choses, j'en ai fait une autre sur la NAT (traduction d'adresses) disponible là: <<http://www.lalitte.com/nat>>

10.5 - Faq sur les masques de sous réseau

Si cette Faq vous a plu et que vous avez appris des choses, j'en ai fait une autre sur les masques de sous réseau disponible là: <<http://www.lalitte.com/masques>>

11 - CONCLUSION

Arf... je vois le bout du tunnel... Je dois bien avouer que j'ai du tourner le problème dans tous les sens afin de trouver une façon cohérente d'aborder les principes de routage. J'espère que le résultat est à la hauteur de mes attentes, et surtout qu'il vous aura permis de comprendre un peu mieux le fonctionnement d'un des principes majeur d'Internet. La compréhension en profondeur du routage n'est vraiment pas une chose aisée. D'ailleurs, il me reste un bon nombre de questions en suspend auxquelles je vais essayer de répondre. Peut être dans une suite du cours :-). En tout cas, je compte sur vous pour me faire un retour efficace sur ce document. Je manipule beaucoup des concepts abordés tous les jours. Mon œil sur le sujet n'est donc pas très neuf, et il est probable que je n'explique pas bien certaines notions. Si des éléments ne vous semblent pas clairs lors de la lecture du document, je vous invite à me contacter à l'adresse spécifiée dans l'en-tête du document pour me faire part de vos remarques. Ne négligez pas vos remarques, elles me sont extrêmement utiles pour améliorer ce document, ainsi que ma compréhension personnelle. Merci de votre attention, vous pouvez éteindre votre ordinateur.