

# Couche réseau / protocole IP

(Version 2.0 - b – 11/11/2012)

## Objectifs :

Ce BE permet d'approfondir la couche réseau du modèle OSI en particulier en étudiant le protocole IP.

### Compte-rendu

Les BE sont réalisés par binôme. Les comptes-rendus doivent être rédigés sous forme électronique. Le dépôt des comptes-rendus se fait sous forme d'un UNIQUE fichier par binôme et par BE au format Acrobat (PDF). Les formats MS-Word (DOC, DOCX) et Open-Office (SXW, ODT) sont aussi acceptés.

Toutes les questions sont numérotées entre crochets. Pour répondre, il suffit de mettre la référence suivi de votre réponse.

Le compte-rendu est à déposer sur le serveur <http://pedagogie.ec-lyon.fr/> dans la rubrique *Travaux* du cours *Réseaux informatiques*. Au moment du dépôt, merci de bien vouloir rédiger le champ *Titre* sous la forme :

CR <nom eleve 1> - <nom eleve 2> - <N° BE>

En cas de problèmes techniques avec le dépôt sur le serveur, merci d'envoyer votre compte-rendu par E-mail.

## 1 Introduction

Le modèle OSI en 7 couches a été présenté en cours. Dans ce BE nous étudierons plus particulièrement la couche centrale de modèle qui porte le nom de « couche réseau ».

Il existe plusieurs normes et protocoles pour cette couche :

- A l'ISO, le protocole X25 (ISO 8208) est la norme préconisée et qui a été très utilisée, par exemple par le réseau TRANSPAC en France. Il a également été créé une norme sans connexion pour les réseaux locaux, IP-ISO (CLNP, ISO 8473), mais qui n'a été que peu utilisé.
- A l'IETF, le protocole IP est le standard proposé. La version actuelle est IPv4, mais IPv6 est de plus en plus implémentée sur les réseaux, généralement en parallèle d'IPv4, avec l'objectif de se substituer à IPv4 dans quelques années.
- De nombreux protocoles « privés » : IPX (Novell), NetBIOS (Microsoft), DDP-AppleTalk (Apple), etc. qui sont aujourd'hui de moins en moins utilisés ou alors au-dessus d'IPv4 comme pour NetBios.

Dans ce BE nous n'aborderons que le protocole IPv4 qui est de loin le plus utilisé à l'heure actuelle.

Ce BE comporte une première partie démonstrative faite par l'enseignant, puis une partie de manipulations réalisées avec un simulateur de réseau.

## 2 Protocole IPv4

### 2.1 Rappels

Le protocole IP se situe fonctionnellement au niveau de la couche « réseau » du modèle TCP/IP qui est proche de la couche 3 du modèle OSI. Les fonctions principales assurées par IP sont :

- Le transport des données sous forme de paquets (datagrammes)
- L'adressage des équipements (intermédiaires et terminaux)
- L'acheminement et le routage des paquets

### 2.2 Exemple de réseaux

L'enseignant présente à titre d'exemple plusieurs réseaux basés sur IP :

- Le réseau de l'Ecole Centrale de Lyon et son plan d'adressage,
- Le réseau universitaire lyonnais : RMU (2001-2004), Réseau Lyres 1 (2005-2009), Réseau Lyres 2 (depuis 2010)
- Le réseau GEANT :
  - Topologie : [http://www.geant2.net/upload/pdf/786\\_GN2\\_Topology\\_Nov\\_06-2.pdf](http://www.geant2.net/upload/pdf/786_GN2_Topology_Nov_06-2.pdf)
  - Topologie logique avec routeurs et adresses : [http://www.geant2.net/upload/pdf/GEANT\\_Topology\\_12-2004.pdf](http://www.geant2.net/upload/pdf/GEANT_Topology_12-2004.pdf)

## 3 Manipulations avec un simulateur de réseau

La suite du BE est basée sur l'utilisation d'un simulateur de réseaux développé par Pierre Loisel (du Réseau CERTA) spécifiquement pour l'enseignement des réseaux. Il permet de bien mettre en évidence les mécanismes fins tout en simplifiant

certain aspects (en particulier au niveau des adresses). Il ne peut donc pas être utilisé pour simuler des réseaux réels et en particulier faire des tests de performances à l'instar d'autres simulateurs plus puissants... mais aussi beaucoup plus chers !

### Versions du simulateur :

Le simulateur existe sous 2 versions :

- La version 2, version diffusée directement par l'auteur, datant de 2005
- La version 3, version plus récente mais sous licence payante de la société Sopireminfo (<http://www.sopireminfo.com>).

Le BE peut être réalisé avec l'une ou l'autre de ces 2 versions **sauf mention contraire**. Pour certains exercices, le mode opératoire peut différer entre les 2 versions.

### Lancement du simulateur :

Le simulateur se lance sur les machines de l'Ecole Centrale de Lyon sous Windows par l'icône « Simulateur.exe » (version 2) ou l'icône « Simulateur réseau 3 » (version 3) placée sur le bureau.

La documentation complète du simulateur est disponible dans le menu « ? | Aide » dans le logiciel. Pour la version 2, une documentation sous forme de fichier PDF est également disponible.

### Récupération du simulateur pour usage personnel :

#### Pour la version 2 :

Ce simulateur est gratuit et les étudiants peuvent le récupérer pour un usage personnel. Il se compose d'un simple exécutable (pas d'installation compliquée !) mais nécessite Windows 2000 ou XP et la présence du framework .NET v 1.1 (ou ultérieure) sur la machine.

Installation : L'exécutable et le fichier PDF de documentation se trouve sur le serveur pédagogique dans le fichier « Simulateur-V2.ZIP »

#### Pour la version 3 :

Ce simulateur est payant. Cependant la licence acquise par l'Ecole Centrale de Lyon permet d'attribuer une licence individuelle à chaque étudiant pour son usage personnel. Cette version nécessite le framework .NET v2 sur la machine.

Installation : récupérer sur le serveur pédagogique le fichier « sopireInfoSR3.msi » et lancer l'installation en double-cliquant sur le fichier. Pendant l'installation, on vous demandera de fournir le fichier de licence « xxx.lic » qui vous a été distribué.

### Récupération aux fichiers de travail :

Les fichiers de travail pour réaliser ce BE se trouvent sur le serveur <http://pedagogie.ec-lyon.fr> sous la forme d'un fichier ZIP :

**version 2 :** Fichiers-simulateurV2-BE-IP.ZIP

**version 3 :** Fichiers-simulateurV3-BE-IP.ZIP

Téléchargez ce fichier et décompactly l'archive sur votre machine.

## 3.1 Adresses IP et protocole ARP

### 3.1.1 Découverte des adresses Ethernet avec ARP

Cette première manipulation montre la découverte automatique des adresses MAC des machines dans le même réseau IP par le protocole ARP.

⇒ Dans le simulateur, charger le fichier : ip1.xml

Ce réseau est construit autour d'un commutateur Ethernet. Si on avait utilisé un concentrateur (hub), cela ne changerait rien à la manipulation du point de vue du fonctionnement d'ARP et d'IP.

Remarque : pour toutes les manipulations nous allons utiliser des « ping ». Ce sont des messages de type « Echo » du protocole ICMP (véhiculés dans des paquets IP) qui permettent de tester une liaison entre deux machines : une machine envoie une requête ping vers une autre machine. Si la machine reçoit le paquet alors elle envoie une réponse ping à l'expéditeur. Si la première machine reçoit la réponse, alors on sait que la communication bidirectionnelle est possible entre ces 2 machines et on peut aussi calculer un temps aller/retour (RTT=Round Trip Time) entre ces deux machines.

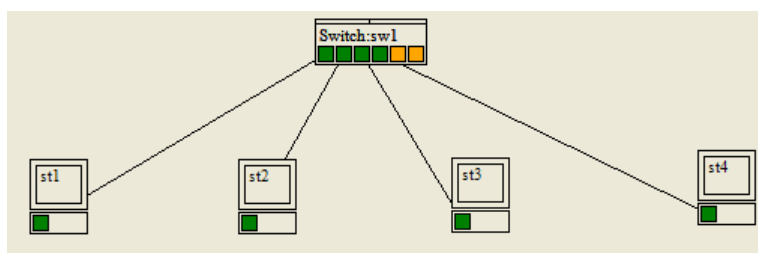


Figure 1 : schéma de réseau avec un commutateur (ip1.xml)

### Travail à réaliser :

- ⇒ Choisir dans le menu « Mode », l'option « IP »
- ⇒ Choisir le mode de « Simulation ARP/IP » : « pas de démonstration »

- ⇒ Cocher la case « Demo ARP » (appelée « Requêtes ARP » dans la *version 3*)
- ⇒ Choisir pour « Trajets paquets » : « chemin Ethernet »
- ⇒ Cliquer avec le bouton droit sur « st1 » et sélectionner « Vider cache ARP »
- ⇒ Envoyer un ping depuis « st1 » vers « st2 ». Pour cela, cliquer avec le bouton droit sur la machine (et non la carte !) et choisir dans le menu « Envoyer un ping ». Taper l'adresse IP de la machine de destination. Pour connaître les adresses IP des autres machines il suffit de placer le curseur de la souris au-dessus d'une carte d'interface : une bulle d'aide affiche les 2 paramètres : adresse MAC (dans le simulateur un nom symbolique) et adresse IP.
- ⇒ [Q3.1.1-1] Pourquoi il y a-t-il un broadcast alors qu'on a donné l'adresse IP d'une machine précise ?
- ⇒ [Q3.1.1-2] Que représentent les lignes bleues affichées par le simulateur ?
- ⇒ [Q3.1.1-3] Que représentent les lignes jaunes affichées par le simulateur ?
- ⇒ [Q3.1.1-4] Comment la station st1 sait-elle que l'adresse IP 192.168.1.2 correspond à l'adresse mac02 ?
- ⇒ Envoyer un nouveau ping depuis « st1 » vers « st2 ». [Q3.1.1-5] Il y a-t-il une résolution ARP ? [Q3.1.1-6] Pourquoi ?
- ⇒ On recommence en mode pas-à-pas : choisir le mode de « Simulation ARP/IP » : « pas à pas »
- ⇒ Cliquer avec le bouton droit sur « st1 » et sélectionner « Vider cache ARP »
- ⇒ Envoyer un ping depuis « st1 » vers « st2 ». Il y a une première étape qui sera examinée plus tard (concerne le routage).
- ⇒ [Q3.1.1-7] Le paquet ICMP Echo request est-il transmis immédiatement ?
- ⇒ [Q3.1.1-8] Combien de trames composent un échange ARP, de quel type ?
- ⇒ [Q3.1.1-9] Que font les autres machines du paquet ARP Request ?
- ⇒ Envoyer un nouveau ping depuis « st3 » vers « st1 ». [Q3.1.1-10] Pour envoyer l'ICMP Echo Request, « st3 » a-t-il fait une requête ARP ? [Q3.1.1-11] Pourquoi ?
- ⇒ [Q3.1.1-12] L'échange complet requête ping/réponse ping se fait-il sans faire de requête ARP ? [Q3.1.1-13] Pourquoi ?
- ⇒ [Q3.1.1-14] Finalement dans quel ordre les trames sont échangées ?
- ⇒ Examiner les tables ARP des 4 machines (dans le menu contextuel de la machine, choisir « Tables | Cache ARP »

### Complément :

Vous pouvez examiner dans votre ordinateur la table ARP. Pour cela, sous Windows :

- ⇒ Ouvrir une fenêtre « Invite de commande » (Dans le menu « Tous les programmes | Accessoires »
- ⇒ Taper la commande : `arp -a`

### 3.1.2 Adressage IP et masque

Une machine détermine si une adresse destination se trouve sur le même sous-réseau qu'elle uniquement en se basant sur son adresse IP et son masque de sous-réseau, quelle que soit l'architecture du réseau sous-jacent. Ceci peut conduire à des situations « étranges » ou des machines physiquement connectées au niveau Ethernet peuvent ne pas communiquer entre elles au niveau IP. Pour plus d'information, vous pouvez faire la manipulation complémentaire du § 4.1.2.

La communication inter-réseau est indirecte, elle passe par un routeur (voir plus loin). La communication dans un réseau est directe, elle passe par l'établissement d'une liaison point-à-point entre les cartes réseaux (liaison point à point établie par les concentrateurs ou les commutateurs).

On doit donc savoir si le paquet qui sera encapsulé dans la trame est destiné au réseau sur lequel on est ou à un réseau distant, car le traitement du paquet sera différent.

Il faut déterminer si l'adresse de destination du paquet est une adresse sur le réseau de l'émetteur ou non. Mais avant de répondre à cette question il faut savoir quelle est l'adresse du réseau de l'émetteur et quelle est l'adresse de réseau du destinataire, pour pouvoir les comparer.

L'adresse IP comprend deux informations : une adresse de réseau et l'adresse du poste sur ce réseau. La limite entre les deux parties de l'adresse est déterminée par le masque de sous-réseau qui est de même longueur qu'une adresse est qui comporte autant de chiffres « 1 » binaire dans les poids les plus forts qu'il y a de bits dans l'adresse de réseau.

Pour extraire l'adresse de réseau d'une adresse IP on applique une opération "ET" logique entre l'adresse IP du poste et son masque (l'opération se fait en binaire).

**Exemple 1 :** soit l'adresse 200.100.40.33/24

```

adresse : 200.100.40.33 :      11001000 01100100 00101000 00100001
masque : 255.255.255.0 :      11111111 11111111 11111111 00000000 (24 bits à 1 sur un total de 32 bits)
Opération ET logique :      11001000 01100100 00101000 00000000
Résultat : Adresse réseau = 200.100.40.0/24 ; adresse hôte = 33 (00100001)

```

**Exemple 2 :** soit l'adresse 200.100.40.33/27

```

adresse : 200.100.40.33 :      11001000 01100100 00101000 00100001
masque : 255.255.255.224 :    11111111 11111111 11111111 11100000 (27 bits à 1 sur un total de 32 bits)
Opération ET logique :      11001000 01100100 00101000 00100000
Résultat : Adresse réseau = 200.100.40.32/27 ; adresse hôte = 1 (00001)

```

Ce traitement opéré sur l'adresse du destinataire et sur l'adresse de l'émetteur permet de déterminer si le paquet doit être adressé directement sur le réseau ou indirectement à un autre réseau via un routeur. Concrètement, cela veut dire que deux postes situés

côte à côte sur un concentrateur (ils peuvent donc communiquer physiquement) n'établiront pas de communication directe si leur adresse réseau IP est différente (cela s'explique car ils ignorent tout de leurs emplacements physiques respectifs).

Une conséquence de ce qui précède est la règle suivante : si on ne peut communiquer directement qu'avec un poste de son réseau, le routeur pour être accessible doit être situé sur le réseau des postes qui l'utilisent. Il faut donc que le routeur ait une adresse IP dans le même sous-réseau que la machine, et donc autant d'adresses IP que de sous-réseaux qu'il interconnecte.

### **Calculs à réaliser :**

Soit l'adresse 156.18.36.47/28 :

- ⇒ [Q3.1.2-1] Quelle est l'adresse du réseau ?
- ⇒ [Q3.1.2-2] Quelle est l'adresse de l'hôte ?

Pour la suite, on utilise le bloc d'adresse 194.13.22.0/24 :

- ⇒ [Q3.1.2-3] Combien de sous-réseaux peut-on créer en utilisant un masque de 26 bits à partir du réseau 194.13.22.0/24 ?
- ⇒ [Q3.1.2-4] Quelles sont les adresses de ces sous-réseaux ?
- ⇒ [Q3.1.2-5] Combien de machines peut-on mettre dans chaque sous-réseau ?
- ⇒ [Q3.1.2-6] Combien d'adresses en tout sont « perdues », c.-à-d. ne peuvent être données à des machines ?
- ⇒ [Q3.1.2-7] Comparer avec le nombre d'adresses « perdues » si on avait gardé le masque initial de 24 bits.

Pour la suite, on raisonne dans un cadre général :

- ⇒ [Q3.1.2-8] Quel est le plus grand masque de réseau utilisable en pratique ?
- ⇒ [Q3.1.2-9] Combien de machines il y a-t-il dans les sous-réseaux déterminés par ce masque maximal ?
- ⇒ [Q3.1.2-10] Combien d'adresses sont « perdues », c.-à-d. ne peuvent être données à des machines ?
- ⇒ [Q3.1.2-11] Conclure sur l'utilité de tels sous-réseaux.

### **Complément :**

Vous pouvez examiner dans votre ordinateur l'adresse IP et le masque de sous-réseau de vos interfaces. Pour cela, sous Windows :

- ⇒ Ouvrir une fenêtre « Invite de commande » (Dans le menu « Tous les programmes | Accessoires »)
- ⇒ Taper la commande : `ipconfig`

## **3.2 Routage IP**

Le traitement décrit au paragraphe précédent est un traitement de routage puisque le poste doit déterminer si le destinataire est sur le même réseau que lui ou pas : tous les paquets IP sont routés, et tous les postes qui utilisent IP routent. Si la machine destinataire n'est pas sur le même réseau, alors la machine émettrice va transmettre le paquet à une machine intermédiaire, le routeur, qui sera chargé de l'acheminement du paquet. En général les routeurs sont des équipements dédiés (pour des raisons de performances et de fiabilité), mais il n'est pas interdit qu'une machine « ordinaire » puisse aussi être routeur pour d'autres machines.

Router un paquet, c'est décider du destinataire de la trame dans laquelle est encapsulé le paquet. Le destinataire de la trame peut être quelquefois différent du destinataire du paquet. Si on passe par un routeur, le paquet destiné au poste final (adresse IP destinataire) sera encapsulé dans une trame destinée à l'adresse MAC de la carte réseau du routeur connecté au réseau du poste. C'est toute la force des deux systèmes d'adressage.

Le routage permet donc de définir la prochaine liaison point à point qui doit être établie pour transmettre le paquet. Une route est constituée par une suite de liaisons point à point entre un émetteur et un destinataire. Les liaisons intermédiaires sont des liaisons entre routeurs. Cette liaison de niveau 2 (entre deux adresses MAC) est déterminée en fait à partir des informations de niveau 3 (les adresses IP).

### **3.2.1 Table de routage**

Pour router un paquet, les postes IP (routeurs ou stations) utilisent une table de routage qui comprend les critères permettant de déterminer le prochain destinataire du paquet (qui n'est pas forcément le destinataire final). Ces critères sont regroupés par ligne. Chaque ligne correspond à un réseau de destination. Une table de routage comprend plusieurs lignes.

Ces lignes sont composées ainsi :

- Colonne 1 : l'adresse IP du réseau IP de destination (voire une adresse IP unique)
- Colonne 2 : le masque de sous réseau correspondant à cette adresse (qui sera tout à 255 si l'adresse précédente est l'adresse d'une machine)
- Colonne 3 : l'adresse IP du routeur (aussi appelée passerelle) qui est le premier routeur permettant de se diriger vers ce réseau (où vers ce poste)
- Colonne 4 : l'adresse IP de l'interface réseau de la machine émettrice (carte ou autre) qui permet d'atteindre ce routeur

Le routage se déroule ainsi :

- Pour chaque ligne de la table de routage : on applique sur l'adresse IP destinataire du paquet le masque de sous-réseau (colonne 2) pour extraire la partie réseau de cette adresse et on la compare avec l'adresse IP de destination (colonne 1)
  - Si cette adresse est différente on passe à la ligne suivante

- Si cette adresse correspond, on récupère via le protocole ARP l'adresse MAC du routeur (colonne 3) et on transmet le paquet via l'interface spécifiée (colonne 4) : l'entête de la trame Ethernet est donc constituée de l'adresse MAC du routeur et de l'adresse MAC de l'interface alors que les adresses IP du paquet n'ont pas été modifiées. Par convention, si la colonne 3 est égale à la colonne 4 (adresse propre de la machine émettrice), c'est que la remise est directe et qu'il n'y a pas besoin de passer par un routeur : Dans ce cas on récupère l'adresse Ethernet du destinataire en faisant une requête ARP.
- Il se peut que plusieurs lignes de la table satisfassent la condition ci-dessus. Dans ce cas, c'est la ligne dont le masque est le plus long qui sera retenue (et non la première ligne dans l'ordre de la table)
- Si aucune adresse réseau de la table ne correspond à l'adresse réseau demandée, alors il est impossible d'acheminer le paquet, la destination est inaccessible. Ce cas ne se produit pas dans une machine bien configurée car il existe une ligne de la table de routage qui est construite à partir de l'adresse de routeur par défaut qui « marche » toujours : cette ligne contient 0.0.0.0 (colonne destination) et 0.0.0.0 (colonne masque).

En pratique, la table de routage d'une machine « ordinaire » (c.-à-d. avec une seule interface et connectée à un réseau n'ayant qu'un routeur) est entièrement construite à partir de 3 informations :

- Adresse IP de la machine
- Masque de sous-réseau
- Adresse IP du routeur par défaut

La manipulation suivante va permettre de mettre en évidence ce fonctionnement.

⇒ Dans le simulateur, recharger le fichier : ip1.xml

### Travail à réaliser :

- ⇒ Choisir dans le menu « Mode », l'option « IP »
- ⇒ Choisir le mode de « Simulation ARP/IP » : « pas à pas »
- ⇒ **Pour la version 2 uniquement** : Vérifier que la case « Demo ARP » est décochée.
- ⇒ **Pour la version 3 uniquement** : Décocher la case « Requêtes ARP ».
- ⇒ Dans le menu « Tables » sélectionner « Remplir les caches ARP »
- ⇒ Choisir pour « Trajets paquets » : « chemin Ethernet »
- ⇒ Envoyer un ping de « st1 » vers 192.168.1.2 (« st2 »)
- ⇒ [Q3.2.1-1] Quelle ligne de la table de routage de « st1 » est utilisée ? [Q3.2.1-2] Pourquoi ?
- ⇒ Envoyer un ping de « st1 » vers 192.168.2.1 (« st4 ») (*Attention : le simulateur peut « planter », selon la version...*)
- ⇒ [Q3.2.1-3] Pourquoi l'envoi ne peut-il se faire ? [Q3.2.1-4] Que manque-t-il dans la table de routage de « st1 » ?
- ⇒ Ajouter une adresse de passerelle par défaut dans « st1 » : dans le menu contextuel de « st1 », choisir « configuration IP » ; dans le champ « Passerelle », entrer : 192.168.1.3. Vérifier dans la table de routage se « st1 » que la route par défaut est bien ajoutée.
- ⇒ Envoyer un ping de « st1 » vers 192.168.2.1 (« st4 »). [Q3.2.1-5] Que se passe-t-il maintenant ? [Q3.2.1-6] Est-ce que le fait d'avoir ajouté la ligne de routage par défaut suffit pour que le paquet atteigne « st4 » ?

### Complément :

Vous pouvez examiner dans votre ordinateur la table de routage. Pour cela, sous Windows :

- ⇒ Ouvrir une fenêtre « Invite de commande » (Dans le menu « Tous les programmes | Accessoires »)
- ⇒ Taper la commande : route print (ou encore : netstat -r)

## 3.2.2 Un routeur pour l'interconnexion de deux réseaux

Une machine qui n'est pas routeur, ne route que les paquets dont il est l'émetteur. Un routeur par contre est une machine connectée à plusieurs réseaux et qui accepte de router des paquets dont il n'est pas l'émetteur (Attention il peut exister des machines qui sont connectées à plusieurs réseaux et qui ne sont pas routeur).

La manipulation suivante va permettre de mettre en évidence ce fonctionnement.

⇒ Dans le simulateur, charger le fichier : ip2.xml

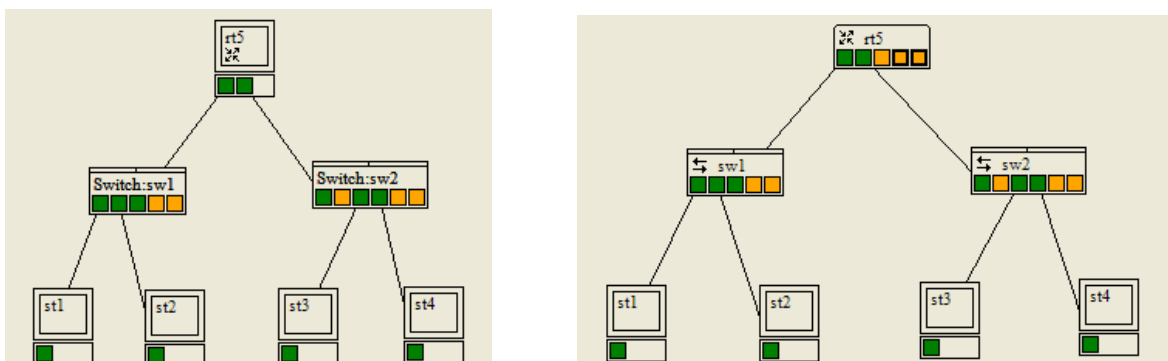


Figure 2 : schéma de réseau avec un routeur (ip2.xml) – à gauche pour la version 2, à droite pour la version 3.

### Travail à réaliser :

- ⇒ Choisir dans le menu « Mode », l'option « IP »
- ⇒ Choisir le mode de « Simulation ARP/IP » : « pas de démonstration »
- ⇒ Choisir pour « Trajets paquets » : « chemin Ethernet »
- ⇒ **Pour la version 3 uniquement** : Cocher la case « Requetes ARP »
- ⇒ Dans le menu « Tables » sélectionner « Vider les caches ARP »
- ⇒ Envoyer un ping de « st1 » vers 192.168.2.1 (« st3 »). [Q3.2.2-1] Pourquoi les paquets IP passent par le routeur « rt5 » ?
- ⇒ [Q3.2.2-2] Combien d'échange ARP sont-ils nécessaires, en tout ?
- ⇒ [Q3.2.2-3] et pour obtenir quelles adresses et par quelle(s) machine(s) ?
- ⇒ Enlever l'adresse de passerelle par défaut dans « st1 » et envoyer de nouveau un ping de « st1 » vers 192.168.2.1 (« st3 »). [Q3.2.2-4] Que se passe-t-il ?
- ⇒ Rétablir l'adresse de passerelle par défaut dans « st1 » (192.168.1.254) et supprimer l'adresse de passerelle par défaut dans « st3 ». Envoyer de nouveau un ping de « st1 » vers 192.168.2.1 (« st3 »). [Q3.2.2-5] Que se passe-t-il ?
- ⇒ Rétablir l'adresse de passerelle par défaut dans « st3 » (192.168.2.254) et désactiver le routage dans « rt5 ». Envoyer de nouveau un ping de « st1 » vers 192.168.2.1 (« st3 »). [Q3.2.2-6] Que se passe-t-il ?
- ⇒ Examiner la table de routage de « rt5 ». [Q3.2.2-7] Quelles informations ont permis de construire cette table ?

Remarque : vous pouvez passer en mode de simulation « pas à pas » pour mieux analyser le processus.

### 3.2.3 Plusieurs routeurs sur le chemin

La manipulation suivante utilise un réseau plus complexe avec 4 routeurs et 5 réseaux.

- ⇒ Dans le simulateur, charger le fichier : ip3.xml

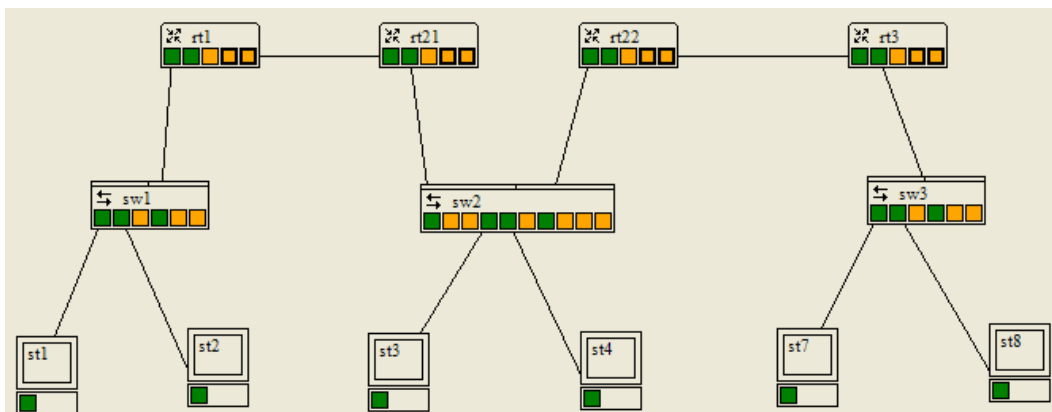


Figure 3 : schéma de réseau avec 4 routeurs (ip3.xml) – représenté ici pour la version 3 du simulateur

### Travail à réaliser :

- ⇒ Choisir dans le menu « Mode », l'option « IP »
- ⇒ Choisir le mode de « Simulation ARP/IP » : « pas de démonstration »
- ⇒ Choisir pour « Trajets paquets » : « chemin Ethernet »
- ⇒ Dans le menu « Tables » sélectionner « Remplir les caches ARP ».
- ⇒ Envoyer un ping depuis « st1 » vers « st8 » (192.168.3.2).
- ⇒ [Q3.2.3-1] Combien de trames Ethernet différentes sont nécessaires pour acheminer la requête d'écho ICMP ?
- ⇒ [Q3.2.3-2] Quel est le routeur du réseau 192.168.1.0/24 ?
- ⇒ [Q3.2.3-3] Quel est le routeur du réseau 192.168.2.0/24 ?
- ⇒ [Q3.2.3-4] Quel est le routeur du réseau 192.168.3.0/24 ?
- ⇒ Envoyer un ping depuis « st3 » vers « st8 » (192.168.3.2). [Q3.2.3-5] Combien de trames Ethernet différentes sont nécessaires pour acheminer la requête d'écho ICMP ? [Q3.2.3-6] Et combien de trames Ethernet différentes sont nécessaires pour acheminer la réponse d'écho ICMP ?
- ⇒ [Q3.2.3-7] Qu'en déduire pour ce réseau ? [Q3.2.3-8] Il y aurait-il une solution pour éviter la dissymétrie des routes ?

### 3.2.4 Réseau à structure hiérarchique, agrégation de routes

Nous venons de voir dans les deux paragraphes précédents qu'il faut rajouter explicitement des lignes dans la table de routage pour pouvoir atteindre des réseaux qui ne sont pas directement connectés au routeur mais par l'intermédiaire d'autres routeurs. Le nombre de routes ainsi constituées peut devenir très grand pour un routeur qui interconnecte un grand nombre de sous-réseaux, mais ces routeurs possèdent quand même une route par défaut pour pouvoir atteindre le reste de l'Internet. Cependant, un certain nombre de routeurs qui sont au « centre » de l'Internet ne peuvent avoir de route par défaut et doivent donc lister toutes les destinations possibles : pour éviter que les tables de routage ne deviennent gigantesques, des « astuces » permettent d'agréger les lignes à condition que les adresses des réseaux aient été soigneusement distribuées de manière hiérarchique. La manipulation suivante va montrer le principe de cette agrégation de routes sur un exemple simple.

- ⇒ Dans le simulateur, charger le fichier : ip4.xml

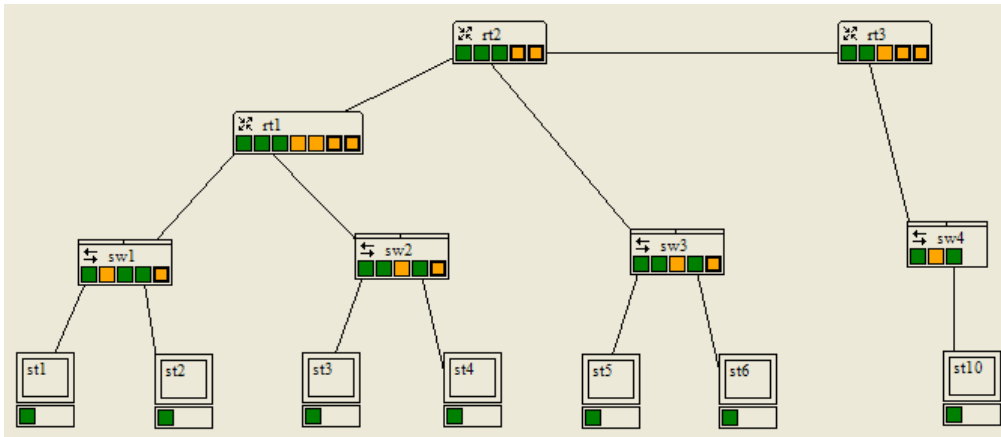


Figure 4 : schéma de réseau hiérarchique avec 3 routeurs (ip4.xml) – représenté ici pour la version 3 du simulateur

Ce schéma simule un réseau d'entreprise composé des routeurs « rt1 » et « rt2 » et de 3 sous-réseaux construits autour des commutateurs « sw1 », « sw2 » et « sw3 ». La liaison entre « rt2 » et « rt3 » simule la connexion longue distance vers le fournisseur d'accès Internet dont « rt3 » est le point d'entrée. La machine « st10 » n'est là que pour pouvoir faire des ping. L'entreprise a obtenu une classe C complète, 192.168.1.0/24. Mais comme elle souhaite créer des sous-réseaux pour séparer le trafic interne entre les différents services elle a découpée cette classe en sous-blocs.

### Travail à réaliser :

- ⇒ Choisir dans le menu « Mode », l'option « IP »
- ⇒ Choisir le mode de « Simulation ARP/IP » : « pas à pas »
- ⇒ Choisir pour « Trajets paquets » : « chemin Ethernet »
- ⇒ Dans le menu « Tables » sélectionner « Remplir les caches ARP ».
- ⇒ Envoyer un ping depuis « st1 » vers « st10 » (172.16.0.1). Examiner les décisions de routage prises par les 3 routeurs pour la requête comme pour la réponse et noter à chaque fois les lignes de la table de routage qui sont utilisées [Q3.2.4-1].
- ⇒ Envoyer un ping depuis « st10 » vers « st5 » (192.168.1.65). Examiner les décisions de routage prises par les 3 routeurs pour la requête comme pour la réponse et noter à chaque fois les lignes de la table de routage qui sont utilisées [Q3.2.4-2].
- ⇒ [Q3.2.4-3] Quelle est l'adresse et le masque du sous-réseau construit autour de « sw1 » ? [Q3.2.4-4] Quelle est l'adresse du routeur par défaut ?
- ⇒ [Q3.2.4-5] Mêmes questions pour le sous-réseau construit autour de « sw2 ».
- ⇒ [Q3.2.4-6] Mêmes questions pour le sous-réseau construit autour de « sw3 ».
- ⇒ [Q3.2.4-7] La liaison entre « rt2 » et « rt3 » constitue-t-elle un sous-réseau IP ? [Q3.2.4-8] Si oui, quelle est l'adresse et le masque et la passerelle par défaut ?
- ⇒ Ouvrir la table de routage de « rt1 ».
- [Q3.2.4-9] Quelles sont les lignes construites automatiquement par la configuration des interfaces ?
- [Q3.2.4-10] Il y a-t-il des lignes qui ont été ajoutées explicitement par l'administrateur ?
- ⇒ Ouvrir la table de routage de « rt2 ».
- [Q3.2.4-11] Quelles sont les lignes construites automatiquement par la configuration des interfaces ?
- [Q3.2.4-12] Il y a-t-il des lignes qui ont été ajoutées explicitement par l'administrateur ?
- [Q3.2.4-13] Quelles sont les lignes qui permettent d'atteindre depuis « rt2 » les 2 sous-réseaux qui sont derrière « rt1 » ?
- [Q3.2.4-14] Expliquer.
- [Q3.2.4-15] Aurait-on pu faire autrement ? [Q3.2.4-16] Si oui, comment ?
- ⇒ Ouvrir la table de routage de « rt3 ».
- [Q3.2.4-17] Quelles sont les lignes construites automatiquement par la configuration des interfaces ?
- [Q3.2.4-18] Il y a-t-il des lignes qui ont été ajoutées explicitement par l'administrateur ?
- [Q3.2.4-19] Pourquoi est-ce que « rt3 » n'a pas le détail des sous-réseaux de la classe C dans sa table de routage et que cela marche quand même ?
- ⇒ [Q3.2.4-20] Comment la classe C a-t-elle été découpée ?

### Si vous utilisez la version 2 du simulateur :

Le simulateur ne permet pas de mettre plus de 3 interfaces à une machine. On supposera que cela est possible pour pouvoir répondre à la question suivante mais sans pouvoir réellement réaliser la manipulation.

- ⇒ Ajouter un 3<sup>ème</sup> sous-réseau derrière « rt1 » de taille identique aux 2 sous-réseaux existants (c-à-d 16 adresses permettant de connecter 14 machines y compris le routeur).
- [Q3.2.4-21] Quel est le seul bloc d'adresse utilisable pour ce réseau et qui permette son routage vers le reste du réseau sans avoir besoin de reconfigurer la table de routage de « rt2 » ? Justifier votre réponse.
- ⇒ La liaison « rt1 », « rt2 » consomme un bloc de 4 adresses sur les 256 de la classe C.
- [Q3.2.4-22] Etait-ce nécessaire ? [Q3.2.4-23] Aurait-on pu faire autrement ?
- ⇒ Le sous-réseau construit autour de « sw3 » devient trop petit et on souhaite doubler sa taille (c-à-d avoir 128 adresses dont 126 utilisables) en prenant sur les blocs d'adresses disponibles dans la classe C.

### Si vous utilisez la version 3 du simulateur :

A la différence de la version 2, les routeurs de la version peuvent disposer d'un plus grand nombre d'interface. On peut toutefois répondre à la question sans faire la manipulation...

- [Q3.2.4-24] Est-ce possible d'augmenter le nombre d'adresse sans changer les adresses des machines existantes ?  
 [Q3.2.4-25] Quelle est l'incidence sur les tables de routage de « rt1 », de « rt2 » et de « rt3 » ?

### 3.3 Accès à Internet

Le simulateur permet de simuler partiellement les accès à Internet par l'intermédiaire d'un FAI. Il simule, plus particulièrement le cas d'un accès « individuel » via une ligne de télécommunication (par modem ou par ADSL) : la machine connectée obtient une adresse IP unique par DHCP. Pour connecter un sous-réseau avec plusieurs machines, il faut donc utiliser NAT pour pouvoir utiliser des adresses privées à l'intérieur du réseau qui sont réécrites dynamiquement dans chaque paquet avec l'adresse publique.

#### 3.3.1 Accès sans NAT

La manipulation suivante utilise un réseau comportant 3 réseaux simulant 3 entreprises se connectant à Internet à des FAI (Fournisseurs d'Accès à Internet) qui sont représentés par un composant spécial « Internet ». La connexion des routeurs « rt1 », « rt2 » et « rt3 » se fait par un carte d'accès spécifique et une ligne de télécommunication.

⇒ Dans le simulateur, charger le fichier : ip5.xml

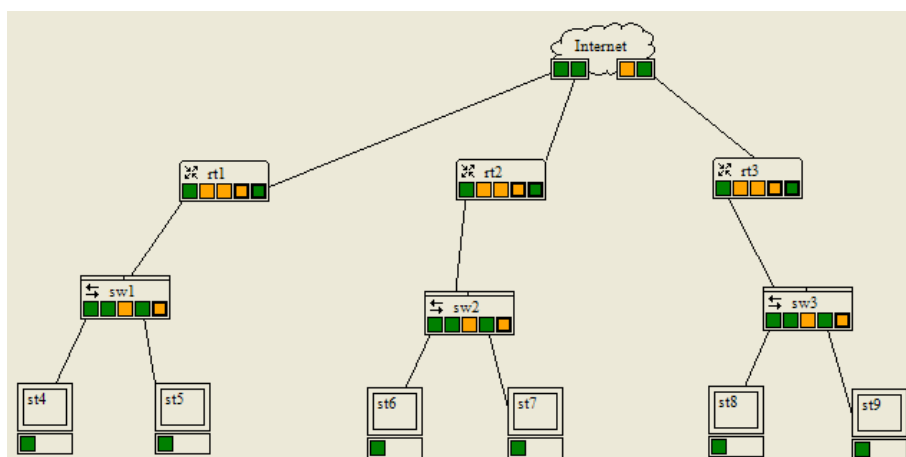


Figure 5 : schéma de 3 réseaux se connectant à Internet (ip5.xml) – représenté ici pour la version 3 du simulateur

#### Travail à réaliser :

- ⇒ Choisir dans le menu « Mode », l'option « IP »
- ⇒ Choisir le mode de « Simulation ARP/IP » : « pas de démonstration »
- ⇒ Choisir pour « Trajets paquets » : « chemin Ethernet »
- ⇒ Dans le menu « Tables » sélectionner « Remplir les caches ARP ».
- ⇒ [Q3.3.1-1] Quels sont les adresses et masque des 3 réseaux IP ? [Q3.3.1-2] Les réseaux 1 et 3 ont-ils le droit d'avoir les mêmes adresses ?
- ⇒ Envoyer un ping depuis « rt1 » vers « rt3 » (172.12.0.4). [Q3.3.1-3] Le ping fonctionne-t-il ?
- ⇒ Envoyer un ping depuis « st4 » vers « rt3 » (172.12.0.4). [Q3.3.1-4] Le ping fonctionne-t-il ? [Q3.3.1-5] Pourquoi ?
- ⇒ [Q3.3.1-6] Conclure sur le problème posé par l'accès des réseaux à Internet sans utiliser NAT

#### 3.3.2 NAT et PAT

La manipulation suivante utilise le même réseau mais cette fois-ci en activant le protocole NAT. Dans cette version du simulateur, il est indissociable de PAT (Port Address Translation) et on doit donc se placer au niveau 4 pour faire la simulation. En effet, l'adresse du routeur d'accès est partagée par toutes les machines internes et il s'agit non seulement de réécrire l'adresse (avec NAT) mais aussi de convertir les ports utilisés par la couche de transport (avec PAT) et ceci pour chaque paquet traversant le routeur.

Pour faire les manipulations, on simule des serveurs Web sur les machines « st5 », « st7 » et « st9 » en ajoutant le port TCP/80 dans la liste des ports écoutés sur ces machines.

#### Travail à réaliser :

- ⇒ Dans le simulateur, par sécurité, recharger le fichier : ip5.xml
- ⇒ Choisir dans le menu « Mode », l'option « Transport »
- ⇒ Choisir le mode de « Simulation Transport » : « pas de démonstration »
- ⇒ Choisir pour « Trajets paquets » : « chemin Ethernet »
- ⇒ Dans le menu « Tables » sélectionner « Supprimer les échanges en cours ».
- ⇒ Envoyer une requête depuis « st4 » vers « st5 » (192.168.1.2) en TCP sur le port 80. Pour cela, dans le menu contextuel de « st4 », choisir « Envoyer une requête ». [Q3.3.2-1] La requête est-elle acceptée ?
- ⇒ Répondre à la requête depuis « st5 » : dans le menu contextuel de « st5 », choisir « Répondre à une requête » et la sélectionner dans la liste. [Q3.3.2-2] La réponse est-elle bien acceptée ?



- ⇒ Envoyer une requête depuis « st5 » vers « st4 » (192.168.1.1) en TCP sur le port 80.  
[Q3.3.2-3] La requête est-elle acceptée ? [Q3.3.2-4] Pourquoi ?
- ⇒ Envoyer une requête depuis « st4 » vers « rt3 » (172.12.0.4) en TCP sur le port 80.  
[Q3.3.2-5] La requête est-elle acceptée ?  
[Q3.3.2-6] Qui reçoit la requête ?  
[Q3.3.2-7] Expliquer ce qui se passe.
- ⇒ Regarder les tables « échanges en cours » dans « st4 ».  
[Q3.3.2-8] Quelles sont les adresses sources/destinations et ports sources/destinations pour la requête en cours ?
- ⇒ Regarder les tables « échanges en cours » dans « st9 ».  
[Q3.3.2-9] Quelles sont les adresses sources/destinations et ports sources/destinations pour la requête en cours ?  
[Q3.3.2-10] Comment expliquer les différences alors qu'il s'agit de la même requête ? (Regarder les tables « Nat/Pat » dans « rt1 » et « rt2 » pour répondre à la question.)
- ⇒ Envoyer une requête depuis « st4 » vers « rt3 » (172.12.0.4) en TCP sur le port 80.  
[Q3.3.2-11] La requête est-elle acceptée ?  
[Q3.3.2-12] Qui reçoit la requête ?  
[Q3.3.2-13] Expliquer ce qui se passe.  
Regarder les tables « échanges en cours » dans « st4 » et « st9 » ainsi que les tables « Nat/Pat » dans « rt1 » et « rt2 »
- ⇒ Répondre à la requête depuis « st9 ».  
[Q3.3.2-14] La réponse est-elle bien acceptée ?
- ⇒ Envoyer une requête depuis « st4 » vers « rt2 » (172.11.0.4) en TCP sur le port 80.  
[Q3.3.2-15] La requête est-elle acceptée ? [Q3.3.2-16] Pourquoi ?  
[Q3.3.2-17] Que faut-il faire pour que la requête parvienne à « st7 » ?

Remarque : pour bien répondre aux questions, il est conseillé de refaire toutes les manipulations depuis le début en choisissant le mode de simulation « pas à pas ».

>>> FIN <<<

## 4 Compléments

Dans cette partie sont réunis quelques exercices complémentaires permettant un approfondissement des concepts. Ils sont tous facultatifs.

### 4.1.1 Correspondances ARP statiques (Complément au paragraphe 3.1.1)

Il est possible de rentrer des correspondances adresses Ethernet ↔ adresses IP statiques dans les tables ARP. En pratique, cela n'est jamais utilisé dans un réseau en exploitation. Les élèves intéressés pourront faire les manipulations avec le simulateur. Pour cela, il faut cocher la case « entrées ARP statiques ».

### 4.1.2 Différences entre réseau Ethernet et réseau IP (Complément au paragraphe 3.1.2)

Cette manipulation montre que des machines, bien qu'accessibles dans le même réseau Ethernet, ne sont pas accessibles au niveau IP car elles ne sont pas placées dans le même sous-réseau.

- ⇒ Dans le simulateur, charger le fichier : ip1.xml

#### Travail à réaliser :

- ⇒ Choisir dans le menu « Mode », l'option « Ethernet »
- ⇒ Choisir le mode de « Simulation Ethernet » : « automatique »
- ⇒ Cocher la case « Message Réception »
- ⇒ Envoyer une trame Ethernet unicast de « st1 » vers « st4 ». Rappel : cliquer avec le bouton droit sur la carte d'interface de « st1 » et choisir « Envoyer une trame ».
- ⇒ La machine « st4 » reçoit-elle bien la trame ?
- ⇒ Choisir dans le menu « Mode », l'option « IP »
- ⇒ Choisir le mode de « Simulation ARP/IP » : « pas de démonstration »
- ⇒ Choisir pour « Trajets paquets » : « chemin Ethernet »
- ⇒ Cocher la case « requêtes ARP »
- ⇒ Cliquer avec le bouton droit sur « st1 » et sélectionner « Vider cache ARP »
- ⇒ Envoyer un ping depuis « st1 » vers 192.168.2.1, adresse IP de « st4 ».
- ⇒ Il y a-t-il une requête ARP ? Pourquoi ?  
Comment « st1 » détermine-t-il que « st4 » n'est pas dans le même sous-réseau ?  
Quelles seraient les solutions pour que « st4 » soit joignable au niveau IP par « st1 » ?

### 4.1.3 Deux routeurs (Complément au paragraphe 3.2.2)

Une routeur a une table de routage plus compliquée pour traiter tous les cas correspondant aux réseaux auquel il est directement connecté mais garde le plus souvent une ligne avec une route par défaut pour tous les autres cas. Cependant, lorsque le routeur ne connecte pas que des réseaux « feuilles », d'autres lignes doivent être rajoutées pour atteindre des réseaux qui sont à plus d'un routeur de distance.

La manipulation suivante va montrer qu'un réseau qui n'est pas accessible directement par un routeur doit être explicitement ajouté dans la table de routage de ce routeur.

⇒ Dans le simulateur, charger le fichier : ip6.xml

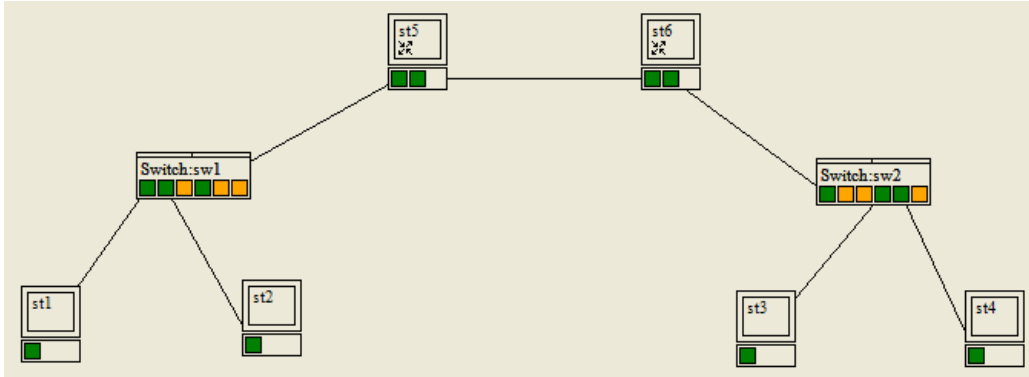


Figure 6 : schéma de réseau avec deux routeurs (ip6.xml)

#### Travail à réaliser :

- ⇒ Choisir dans le menu « Mode », l'option « IP »
- ⇒ Choisir le mode de « Simulation ARP/IP » : « pas de démonstration »
- ⇒ Choisir pour « Trajets paquets » : « chemin Ethernet »
- ⇒ Dans le menu « Tables » sélectionner « Remplir les caches ARP ». Ceci permet ne pas « s'encombrer » des résolutions ARP.
- ⇒ Envoyer un ping depuis « st1 » vers « st 3 » (192.168.2.1).
- ⇒ Combien de trames Ethernet différentes sont nécessaires pour acheminer la requête d'écho ICMP ?
- ⇒ Quel est le routeur du réseau 192.168.1.0/24 ? Quel est le routeur du réseau 192.168.2.0/24 ?
- ⇒ Comment les deux routeurs sont reliés entre-eux ? Cette liaison constitue-t-elle un sous-réseau IP ?
- ⇒ Examiner les tables de routage des deux routeurs. Dans ces tables, quelles sont les lignes qui sont construites automatiquement à partir de la configuration des cartes réseaux ? Quelles sont les lignes qui ont été explicitement ajoutées par l'administrateur pour que le routage fonctionne ? Quelles sont les lignes avec remise directe des paquets et celles avec remise indirectes ?

### 4.1.4 Routage inter-VLAN (Complément au paragraphe 3.2)

Dans le BE sur Ethernet, nous avons terminé par des manipulations sur les VLAN de niveau 1 et 2. Au niveau de la couche 2, un poste appartenant à un VLAN ne peut pas communiquer avec un poste appartenant à un autre VLAN. Les VLANs sont hermétiques entre eux, comme peuvent l'être deux réseaux Ethernet physiquement indépendants.

Pour communiquer entre ces VLAN, il faut donc remonter d'une couche et communiquer par le niveau 3. Tous les postes appartenant à un VLAN doivent faire partie du même réseau IP, et pour communiquer entre VLANs on utilisera un routeur qui aura une adresse MAC dans chacun des VLANs et une adresse IP dans chacun des sous-réseaux.

La manipulation suivante utilise un réseau comportant 2 VLAN de niveau 2 et 1 routeur comportant 2 cartes réseaux, une dans chaque VLAN.

⇒ Dans le simulateur, charger le fichier : ip7.xml

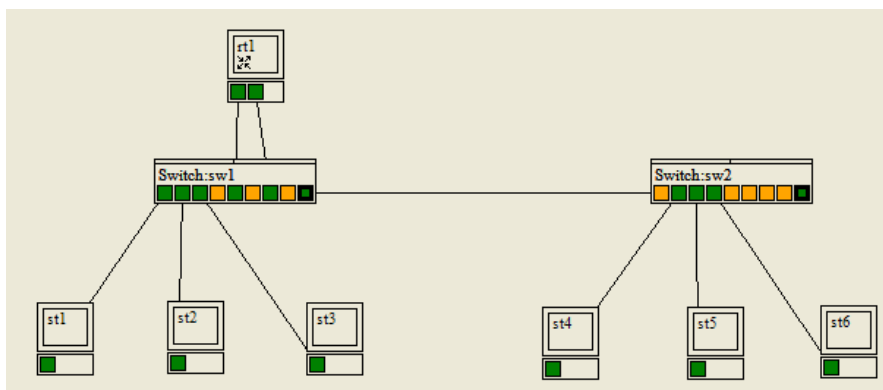


Figure 7 : schéma de réseau avec 2 VLAN et 1 routeur (ip7.xml)

**Travail à réaliser :**

- ⇒ Choisir dans le menu « Mode », l'option « Ethernet »
- ⇒ Rappel : pour consulter la configuration des commutateurs, on utilise le menu contextuel qui est accessible par un clic avec le bouton droit de la souris sur le commutateur.
- ⇒ [Q4.1.4-1] 802.1q est-il actif ?
- ⇒ [Q4.1.4-2] Quels sont les numéros de VLAN utilisés, et quelles machines appartiennent à quel VLAN ?
- ⇒ Choisir dans le menu « Mode », l'option « IP »
- ⇒ [Q4.1.4-3] Quels sont les deux sous-réseaux IP (adresse et masque) ?
- ⇒ [Q4.1.4-4] Il y a-t-il correspondance entre les VLAN et les sous-réseaux ?
- ⇒ [Q4.1.4-5] Donner la table de routage de « rt1 ».
- ⇒ Choisir le mode de « Simulation ARP/IP » : « pas de démonstration »
- ⇒ Choisir pour « Trajets paquets » : « chemin Ethernet »
- ⇒ Dans le menu « Tables » sélectionner « Vider les caches ARP ».
- ⇒ Envoyer un ping depuis « st1 » vers « st4 » (192.168.1.35).
- ⇒ [Q4.1.4-6] Le broadcast ARP parvient-il à toutes les machines ? [Q4.1.4-7] Pourquoi ?
- ⇒ Envoyer un ping depuis « st4 » vers « st1 » (192.168.1.33). [Q4.1.4-8] Il y a-t-il une requête ARP ? [Q4.1.4-9] Pourquoi ?
- ⇒ Envoyer un ping depuis « st1 » vers « st5 » (192.168.1.66). [Q4.1.4-10] Il y a-t-il des requêtes ARP ? [Q4.1.4-11] Dans quels VLAN ?