

Progressivité dans les modules de réseaux avec Marionnet

Camille Coti Jean-Vincent Loddo
coti@lipn.fr loddo@lipn.fr
IUT de Villetaneuse, Université Paris 13

Résumé—Marionnet [1], [2] est un logiciel développé à l'Université Paris 13 par des enseignants de l'IUT de Villetaneuse permettant de définir, configurer, exécuter et contrôler un réseau virtuel. Le but de cet article est de présenter comment Marionnet peut être utilisé, dans le cadre de la mise en place du PPN 2013, pour amener les étudiants vers des réseaux de complexité croissante en les accompagnant vers une autonomie progressive.

I. INTRODUCTION

D'après le PPN 2013, "*Les professions visées sont celles liées à l'installation, la gestion et la maintenance de tous les types de réseaux, aux environnements applicatifs qui les utilisent et à l'administration des systèmes d'exploitation.*". En réseaux, ils doivent donc apprendre à câbler, organiser, structurer et configurer des équipements réseaux sur des réseaux de taille suffisante pour les rendre non-triviaux.

Un grand nombre de notions nouvelles doivent être utilisées pour mettre en place le moindre réseau. Un simple système composé de quelques machines, un commutateur et une passerelle vers l'extérieur fait appel à du câblage, la configuration des interfaces réseaux et des tables de routage des machines et du routeur. Si l'on souhaite faire configurer et utiliser un service, il faudra configurer le réseau avant de pouvoir se concentrer sur le service.

Le but de cet article est de présenter comment l'outil Marionnet [1], [2] développé à l'Université Paris 13 par des enseignants de l'IUT de Villetaneuse permettant de définir, configurer, exécuter et contrôler un réseau virtuel, s'inscrit dans une démarche pédagogique progressive vers cet objectif.

Grâce à Marionnet, il est possible de fournir aux étudiants un système partiellement ou totalement pré-configuré. Ainsi, la séance de travaux pratiques peut se focaliser sur une notion en particulier. Au fur et à mesure de l'avancement de la formation, ce qui est fourni est de moins en moins pré-configuré, jusqu'à ne rien fournir du tout à la fin de la première année. Les étudiants doivent progressivement mettre en place de plus en plus d'éléments eux-mêmes, et sont ainsi progressivement amenés à effectuer l'intégralité de l'installation et la configuration du réseau eux-mêmes.

De plus, Marionnet permet de simuler un réseau entier sur une seule machine. Il permet donc aux étudiants de travailler individuellement sur des réseaux d'une taille assez importante pour dépasser celle d'un petit réseau local, ce qui ne serait pas possible en salle de travaux pratiques sur du matériel physique.

La section II présente comment l'utilisation de réseaux virtualisés avec Marionnet s'articule avec des manipulations sur des équipements physiques. La section III décrit la mise en

œuvre de cette approche pédagogique dans le PPN R&T 2013. La section IV décrit comment cette progressivité est introduit à travers des exemples concrets de situations de travaux pratiques. Enfin, la section V décrit comment, d'abord sur des équipements physiques puis avec Marionnet, un système peut être progressivement augmenté en faisant appel petit à petit aux compétences nouvelles des étudiants et sans perdre le contact avec la réalité physique des équipements.

II. MANIPULATIONS SUR DES ÉQUIPEMENTS PHYSIQUES VS VIRTUELS

Les étudiants arrivant en début de formation n'ont aucun pré-requis. Ils doivent donc commencer par avoir un premier contact avec le matériel, savoir à quoi ressemble un routeur, un commutateur, un câble, quelle est la différence entre un câble croisé et un câble droit...

Cependant, au fur et à mesure que la formation avance, les réseaux concernés ne peuvent plus raisonnablement tenir sur une table de salle de TP. Le but de cette présentation est de présenter comment, tout en gardant un contact avec le matériel physique, Marionnet [1], [2] permet d'apporter un accompagnement progressif des étudiants vers l'autonomie sur des réseaux de plus en plus complexes.

Marionnet est un logiciel de simulation de réseaux constitués d'ordinateurs reliés par des câbles ethernet (droits ou croisés) à d'autres équipements tels que des concentrateurs, commutateurs et routeurs. Chaque étudiant compose sa propre salle de TP virtuelle et devient seul maître à bord dans la mise en œuvre complète du réseau (définition, câblage, configuration des appareils et des services). Il peut ainsi travailler les différentes couches de l'architecture TCP/IP (en IPv4 ou IPv6), à partir de la couche physique (définition des équipements, nombre de ports), jusqu'à la couche application (test de services tels que DNS), en passant par la couche liaison (VLAN, STP) et la couche internet (routage IP statique ou dynamique). Pour une présentation plus détaillée des travaux possibles aux différents niveaux, voir [1]. Malgré le confort que le logiciel offre aux enseignants et aux étudiants, il ne faut pas oublier qu'il propose une panoplie d'équipements plutôt *spécifiques*, donc limités, par rapport à une vraie salle de TP:

- Les ordinateurs (technologie UML) sont exclusivement équipés de systèmes GNU/Linux
- Les commutateurs (technologie VDE) supportent exclusivement le VLAN de type 1
- Les routeurs (technologie Quagga/Linux) utilisent un IOS ressemblant à celui de CISCO (accessible par

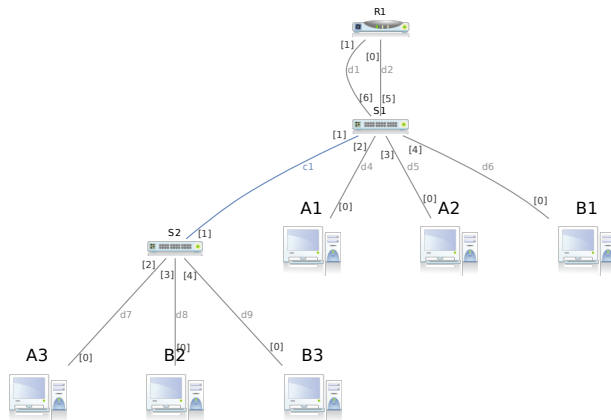


FIGURE 1. Un exemple de situation de TP de routage inter-VLAN.

telnet) et supportent plusieurs algorithmes de routage dynamique (OSPF, ISIS, RIP, RIPng). Il n'est cependant pas possible de configurer le filtrage de paquets ou la traduction d'adresses (NAT) par cet IOS. Il faut pour cela agir directement sur le noyau Linux par la commande iptables (en demandant un terminal Unix au lancement du routeur).

III. MOYENS MIS EN ŒUVRE EN PRATIQUE

Le premier semestre de la formation est composé de modules d'introduction ; l'UE 11 est appelée "découverte métiers". Dans les modules de ce semestre, les étudiants sont mis en contact avec les équipements réseau et découvrent leur manipulation physique et leur configuration. Les modules de ce semestre sont intégralement réalisés sur des équipements physiques.

Le deuxième semestre contient une UE de "consolidation métiers". Dans cette UE, les étudiants passent de réseaux simples, contenant un seul routeur, deux ou trois commutateurs et quelques machines, à des réseaux composés de plusieurs routeurs, jusqu'à une dizaine de machines et plusieurs commutateurs. Il devient alors intéressant d'effectuer ces manipulations sur un système virtualisé comme Marionnet, afin de permettre à chaque étudiant, individuellement, de travailler sur son propre système sans contrainte d'encombrement.

Par exemple, les étudiants découvrent les VLAN dans le module M2101. Ils effectuent une séance de TP dans laquelle ils câblent des machines sur un commutateur physique posé sur la table, et voient les effets du VLAN. La notion de liaison trunk leur est présentée en reliant deux commutateurs. Ils découvrent alors comment configurer des équipements physiques. En M2103, ils découvrent le routage inter-VLANs. On ajoute alors un routeur à la configuration. La situation est présentée par la figure 1. Le TP devient alors volumineux (6 machines, 2 commutateurs, 1 routeur) : il devient intéressant de virtualiser le réseau, la manipulation physique à effectuer sur un commutateur ayant déjà été vue.

Comme présenté dans la section II, il est indispensable

de ne pas occulter le contact des étudiants avec le matériel physique. Les modules de réseau sont donc organisés et coordonnés de façon à s'assurer qu'une manipulation a été impérativement vue à petite échelle sur du matériel physique avant d'être utilisée dans Marionnet.

IV. VERS UNE AUTONOMIE DES ÉTUDIANTS

Marionnet présente l'avantage de permettre de sauvegarder l'état courant du réseau virtuel défini, avec la seule contrainte que tous les équipements soient éteints. Le projet sauvegardé a l'extension .mar et contient une archive tar compressée. Il est donc possible, par un fichier .mar, de fournir aux étudiants une partie de la configuration, afin de réduire la complexité de la situation étudiée. Il y a plusieurs possibilités :

- Fournir un fichier .mar décrivant le réseau Marionnet avec les états disques (fichiers .cow inclus dans l'archive) des différentes machines virtuelles, commutateurs et routeurs. Ainsi, les étudiants disposent d'un réseau pré-câblé et d'équipements pré-configurés.
- Fournir un fichier .mar décrivant juste le réseau Marionnet, sans aucun état disque (il suffit pour cela de ne pas lancer les composants, ou de nettoyer les états disques, avant de sauvegarder). Seul le câblage est déjà fait et les étudiants doivent effectuer la configuration des machines. C'est le choix qui a été fait dans notre cas pour le module M2106.
- Ne fournir aucun fichier : les étudiants doivent alors effectuer la configuration physique du réseau (le câblage) et la configuration des machines de A à Z. Ils sont alors en totale autonomie devant le système. C'est le choix qui a été fait dans notre cas pour le module M2103.

De cette façon, les étudiants sont amenés d'une situation où ils sont partiellement assistés pour se concentrer sur un aspect de la configuration réseau, à une situation où, seuls, ils doivent prendre en charge l'intégralité de la mise en place de leur réseau.

A. Services réseaux

Certains modules, comme M2106 (bases des services réseaux) et M3105 (services réseaux avancés), ont pour objet la mise en place et la configuration de services réseaux. Ces services n'ont évidemment de sens que dans le contexte d'un réseau informatique. Par conséquent, il est intéressant de mettre les étudiants face à un réseau déjà mis en place et de focaliser l'objet des séances de travaux pratiques sur ces services.

On fournit alors aux étudiants un réseau virtuel Marionnet dont les équipements sont pré-configurés. Le système est déjà utilisable, la connectivité entre les machines est assurée et le TP peut se focaliser sur les services à mettre en place.

Par exemple, la figure 2 représente un réseau comprenant dix machines dans trois sous-réseaux reliées par un routeur et trois commutateurs, le tout étant relié à Internet. Il s'agit d'une situation illustrant la configuration d'un serveur DHCP à travers plusieurs sous-réseaux, utilisée dans le cadre du module M2106. Ce module a lieu en début de semestre, et son intérêt réside dans la configuration des machines et du serveur DHCP. Cependant, la configuration du routeur n'est

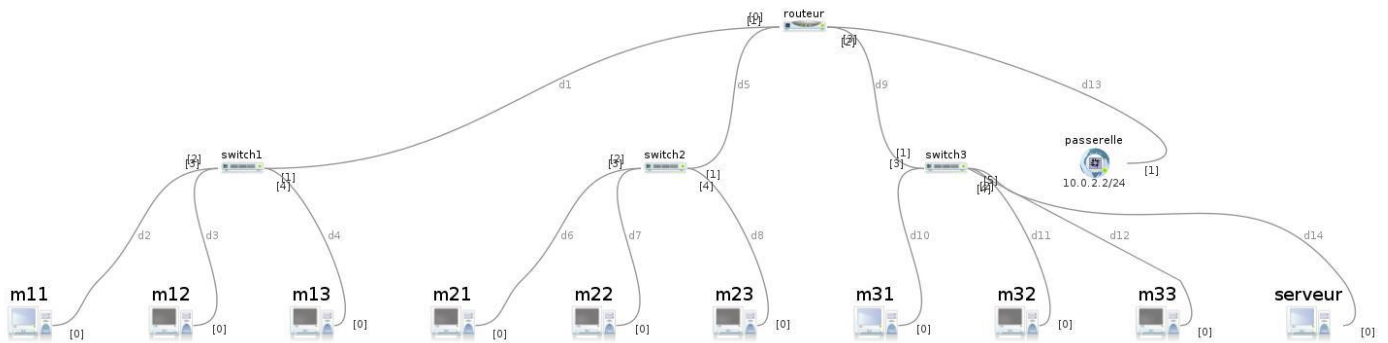


FIGURE 2. Réseau mis en place pour un TP sur DHCP, comprenant 3 sous-réseaux.

pas un objectif principal de ce TP. Par conséquent, on peut fournir aux étudiants un réseau déjà câblé et pré-configuré.

B. Configuration des équipements réseaux

Une part importante du programme de réseau est consacrée à la configuration des équipements réseaux, et notamment l'adressage et le routage. Le module M1101 introduit ces notions et évoque le routage avec l'utilisation d'une passerelle. Les travaux pratiques sont alors faits sur des équipements physiques, en demandant aux étudiants de réaliser le câblage et la configuration d'un réseau simple.

Le module M2103 passe à une plus grande échelle en introduisant les sous-réseaux et la structuration des réseaux. Marionnet est utilisé depuis plusieurs années pour des séances de travaux pratiques sur le routage statique ou dynamique [3]. Chaque étudiant peut configurer les équipements (routeurs et machines) et en tester la connectivité.

Un réseau plus complexe que les précédents est présenté sur la figure 3. Ce TP est effectué dans le cadre du module M2103 et se concentre sur le routage statique. Il est composé de quatre routeurs, six commutateurs, six machines et est relié à Internet. Il n'est donc pas concevable de le réaliser sur du matériel physique en salle TP. Les étudiants ont alors déjà manipulé des réseaux de taille progressivement croissante.

Le réseau utilisé dans ce TP est préalablement étudié en travaux dirigés : l'identification et l'adressage des différents réseaux sont préparées et les tables de routage des routeurs et des machines sont étudiées sur papier. La séance de TP consiste à la mise en place concrète de ces tables de routage et à l'observation de la connectivité (avec des ping) au fur et à mesure de la configuration des différents sous-réseaux.

C. Injection de défaillances

Marionnet permet également l'injection de défaillances dans le système : pertes et duplications de messages, extinction brutale d'équipements, câbles débranchés... Les étudiants peuvent alors voir les conséquences sur leur système d'une panne qui peut arriver dans le monde réel.

Cette fonctionnalité trouve deux applications immédiates dans le nouveau PPN. La première est de les faire travailler sur une méthodologie de détection de pannes. Par exemple, on peut envisager le réseau représenté sur la figure 4. Ici, les

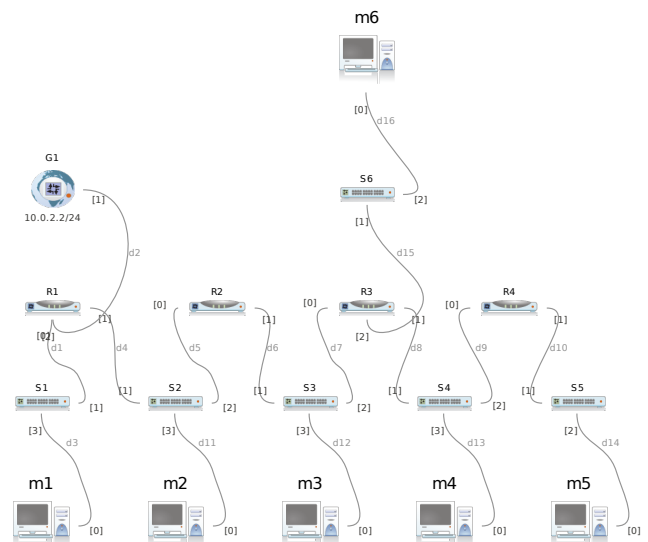


FIGURE 3. Réseau mis en place pour un TP sur le routage statique

deux machines m1 et m2 sont reliées par une infrastructure composée de trois routeurs R1, R2 et R3. Or, le câble entre R2 et R3 a été débranché. La connectivité entre m1 et m2 est donc perdue. Les étudiants peuvent alors chercher à diagnostiquer et localiser la cause de la perte de connectivité.

La deuxième application est de permettre de mettre en pratique les propriétés d'adaptativité des algorithmes de routage dynamique. En branchant et en débranchant des équipements à chaud, les étudiants peuvent suivre l'évolution des tables de routage et voir les routes empruntées par les paquets être modifiées. De plus, cela permet de mettre en évidence la détection de défaillance et les diverses étapes de l'adaptation des routes à la disparition d'un routeur.

Un exemple de situation est représenté par la figure 5. Le réseau dispose de quatre routeurs formant une interconnexion en anneau. Au début du TP, seuls R1, R2 et R3 sont allumés. Le déroulement de l'algorithme de routage dynamique est observé sur les routeurs, puis les étudiants observent les chemins empruntés pour communiquer entre chaque paire d'interfaces

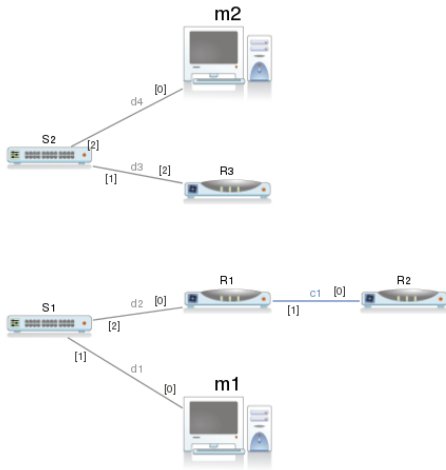


FIGURE 4. Réseau dont la connectivité n'est pas assurée : le câble entre R2 et R3 a été débranché. Les deux machines ne peuvent pas communiquer l'une avec l'autre.

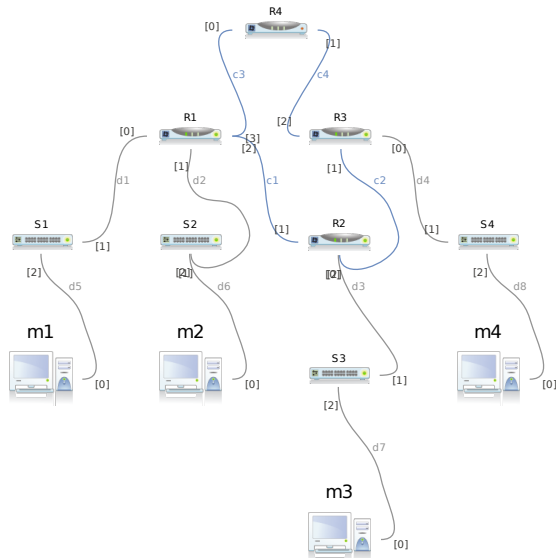


FIGURE 5. Réseau disposant d'une infrastructure d'interconnexion composée de quatre routeurs, utilisé dans un TP de routage dynamique.

(machines et routeurs) grâce à l'utilitaire `tracert`. Le routeur R4 est allumé : ici encore, les étudiants observent l'adaptation des tables de routage et des chemins empruntés. La dernière étape consiste à débrancher R2, et d'observer les modifications entraînées sur les chemins empruntés.

D. Mise en place des équipements physiques

Les étudiants peuvent enfin créer le réseau de toute pièce : l'enseignant ne leur fournit aucun fichier. Ils sont alors mis en autonomie sur la mise en place de ce réseau : ils doivent effectuer la mise en place, le câblage (ne pas se tromper dans les câbles à utiliser) et la configuration de leurs équipements.

C'est la situation la plus réaliste vis-à-vis de l'installation d'un réseau dans le monde réel. Cependant, cette situation est amenée petit à petit au cours de la première année de DUT afin de consolider les connaissances nécessaires sur chaque étape de cette mise en place.

E. Progressivité au cours de la formation

Le deuxième semestre de DUT R&T est, dans le cadre de la progression que nous avons mis en place, un moment charnière dans la progression de nos étudiants. L'approche présentée ici est donc principalement utilisée au cours du deuxième semestre.

Les étudiants découvrent les équipements physiques au premier semestre et au début du deuxième semestre (M1101, M1104, M2101). À l'issue du premier semestre, ils savent configurer un petit réseau composé de quelques machines, d'un commutateur et d'un routeur.

Le module M2106 (bases des services réseaux) arrive en début de deuxième semestre. L'enseignant fournit alors aux étudiants des réseaux pré-configurés pour leur permettre de se concentrer sur les services eux-mêmes, sans buter sur les difficultés liées à la mise en place du réseau. Cependant, au fur et à mesure que le module avance, de moins en moins d'éléments sont pré-configurés.

La mise en place du réseau fait plutôt l'objet du module M2103. Le module M2101 se déroule environ sur le premier tiers du deuxième semestre. Il est important que ces deux modules soient bien coordonnés pour que les manipulations sur des équipements physiques introduites en M2101 soient effectuées avant le passage sur ses équipements virtualisés dans Marionnet en M2103, où ils seront utilisés dans des réseaux de plus grande taille.

C'est à l'issue du module M2103 que les étudiants doivent mettre en place totalement leur réseau eux-mêmes. Les deux premières séances de travaux pratiques sont entièrement préparées en travaux dirigés : ils sont donc consacrés à la mise en place du réseau lui-même, à sa configuration et à l'observation de son fonctionnement (routage, connectivité). Puis les séances suivantes intègrent également la réflexion liée à la conception de ce réseau.

Ainsi, en fin de deuxième semestre, les étudiants sont en mesure de câbler un réseau, configurer les équipements du réseau et configurer et utiliser quelques services réseaux de base.

V. EXEMPLE DE PROGRESSIVITÉ D'UN RÉSEAU SIMPLE À UN RÉSEAU COMPLEXE

Afin d'illustrer cette progressivité et sa mise en place grâce à Marionnet, considérons le réseau représenté par la figure 1.

On peut commencer par n'en considérer qu'une sous-partie : les machines A1, A2 et B1 et le commutateur S1. On est alors dans le cas d'un réseau très simple, sans routage. Si les machines ne sont pas toutes dans le même sous-réseau, on ajoute un routeur qui est utilisé comme passerelle entre ces deux sous-réseaux. La notion de passerelle est vue en M1101, tout comme le câblage permettant de réaliser ce montage. Les étudiants peuvent alors être mis devant un réseau pré-câblé et

le TP peut se concentrer sur la configuration de l'adressage et du routage.

En M2101 est introduite la notion de VLAN, notamment pour segmenter des réseaux utilisant le même commutateur. La manipulation consistant à séparer A1 et A2 d'une part de B1 d'autre part est effectuée en M2101.

La notion de trunk est elle aussi introduite en M2101. Le réseau complet, avec une liaison trunk entre les deux commutateurs S1 et S2, en mettant les machines A1, A2 et A3 dans un premier VLAN et les machines B1, B2 et B3 dans un second VLAN, est une situation typique de ce module. Cependant, elle implique beaucoup de matériel, qui ne peut pas forcément être utilisé en TP, ou alors en regroupant les étudiants. Marionnet permet de faire travailler les étudiants individuellement.

Le routage inter-VLAN est vu en M2103. Le cheminement des paquets dans le réseau à travers les équipements constitue une réflexion intéressante pour les étudiants afin de leur faire comprendre où interviennent les mécanismes de couche 1/2 (VLAN) et de couche 3 (routage).

Enfin, il est possible de prolonger cette situation de TP avec l'utilisation d'un routeur filtrant sur le routeur R1. En effet, les routeurs dans Marionnet fonctionnent sous Linux. Il est alors possible d'utiliser `iptables` pour filtrer les paquets échangés entre les deux VLANs. C'est donc un exemple du contrôle du trafic entre des sous-réseaux d'un réseau segmenté.

VI. CONCLUSION

Nous avons vu comment Marionnet permet, dans le cadre de la progression dans les modules de réseau et à travers

quelques exemples de situations de TP, d'amener les étudiants de DUT R&T vers une autonomie progressive sur des réseaux de taille croissante. Utilisée à l'IUT de Villetaneuse, cette progressivité a permis aux étudiants de manipuler des réseaux de plus en plus complexes, sans perdre le contact avec les équipements physiques, à travers une approche complémentaire selon les modules abordés.

Ces manipulations sont effectuées sur une seule machine physique, grâce aux mécanismes de virtualisation de Marionnet. Cette approche présente l'avantage de diminuer la quantité de matériel nécessaire et de faire travailler individuellement les étudiants. De plus, Marionnet peut être une plate-forme de choix dans un dispositif de formation à distance, afin de permettre aux étudiants de travailler sur des séances de travaux pratiques sans disposer de tout le matériel correspondant chez eux.

RÉFÉRENCES

- [1] Franck Butelle, Jean-Vincent Loddo: *Tirer les ficelles de l'architecture TCP/IP avec Marionnet*, Journée Réseaux (JRES'2011). Toulouse, 2011.
- [2] Jean-Vincent Loddo: *Marionnet : un logiciel graphique pour l'apprentissage et l'enseignement des réseaux locaux d'ordinateurs*, Premier Workshop pédagogique "Réseaux & Télécoms", Saint-Pierre de la Réunion (France), 2007.
- [3] Rushed Kanawati, Jean-Vincent Loddo: *Le routage IP statique avec Marionnet : retour d'expérience*, Colloque international sur l'enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CETSI'2010), Grenoble, 2010.