

ENSEIGNEMENT A DISTANCE AVEC LES LABORATOIRES VIRTUELS « OPEN SOURCE » : EXPERIENCES DE COLLABORATION INTERNATIONALE

Ernesto Damiani,

Dipartimento di Tecnologia dell'Informazione- Università degli Studi di Milano - Italy

ernesto.damiani@unimi.it

Joël T. Hounsou

Institut de Mathématiques et de Sciences Physique - Université d'Abomey-Calavi - Bénin

j_hounsou@yahoo.fr

Pélagie Y. E. Houngue,

Dipartimento di Tecnologia dell'Informazione- Università degli Studi di Milano - Italy

Yenukunme.houngue@unimi.it

Fulvio Frati

Dipartimento di Tecnologia dell'Informazione- Università degli Studi di Milano - Italy

fulvio.frati@unimi.it

Brigitte Odjo

Institut de Mathématiques et de Sciences Physique - Université d'Abomey-Calavi - Bénin

briodjo@yahoo.fr

Romaric A. Tchokpon

Dipartimento di Tecnologia dell'Informazione- Università degli Studi di Milano - Italy

romaric-ange.tchokpon@unimi.it

Résumé : Compte tenu de l'évolution rapide des Technologies de l'Information, la création de nouvelles méthodes d'enseignement s'impose afin de permettre aux étudiants de maîtriser les contours difficiles du programme d'enseignement. De nos jours, dans le souci d'amélioration de l'enseignement des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), plusieurs Universités et Institutions voudraient mettre à la disposition des étudiants une solution basée sur les environnements virtuels d'étude pour leur permettre d'acquérir des aptitudes pratiques suite à la théorie acquise dans l'environnement classique d'enseignement. Mais elles sont limitées par le coût onéreux des environnements virtuels commerciaux qui sont proposés sur le marché. Cet article a pour but de décrire OVL (Open Virtual Lab), l'environnement virtuel « open source » mis en place par l'Université de Milan et qui est utilisé à distance par des Institutions d'outre-mer pour leurs programmes de formations dans le domaine de la configuration et la sécurité des réseaux. En particulier, nous présenterons les avantages liés à l'apprentissage à distance, qu'un tel environnement procure depuis quelques années aux étudiants de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin) à travers leurs projets d'examen et leurs projets de thèse de Master Professionnel.

Summary: Given the rapid evolution of information technologies, new teaching methods is needed to enable students to master the difficult contours of the curriculum. Nowadays, in order to improve the teaching of Information Technology and Communication (ICT), several universities and institutions would like to make available to students a solution based on virtual environments for study enabling them to acquire practical skills after the theory gained in the classic environment of education. But they are limited by the cost of expensive commercial virtual environments that are offered on the market. This article aims to describe OVL (Open Virtual Lab), the virtual "open source" set up by Università degli Studi di Milano and used by remote institutions overseas for their training programs in configuration and network security. In particular, we will present the advantages of distance learning that such environment provides the last few years to students at the University of Abomey-Calavi (Benin) through their exam projects and Master Professional thesis.

Mots clés : Enseignement à distance, open source, laboratoires virtuels, virtualisation.

Key words : E-learning, open source, virtual laboratories, virtualization.

Enseignement à distance avec Les Laboratoires Virtuels « Open Source »

Résumé - Compte tenu de l'évolution rapide des Technologies de l'Information, la création de nouvelles méthodes d'enseignement s'impose afin de permettre aux étudiants de maîtriser les contours difficiles du programme d'enseignement. De nos jours, dans le souci d'amélioration de l'enseignement des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), plusieurs Universités et Institutions voudraient mettre à la disposition des étudiants une solution basée sur les environnements virtuels d'étude pour leur permettre d'acquérir des aptitudes pratiques suite à la théorie acquise dans l'environnement classique d'enseignement. Mais elles sont limitées par le coût onéreux des environnements virtuels commerciaux qui sont proposés sur le marché. Cet article a pour but de décrire l'OVL (Open Virtual Lab), l'environnement virtuel « open source » mis en place par l'Université de Milan et qui est utilisé à distance par des Institutions d'outre-mer pour leurs programmes de formations dans le domaine de la configuration et la sécurité des réseaux. En particulier, nous présenterons les avantages liés à l'apprentissage à distance, qu'un tel environnement procure depuis quelques années aux étudiants de l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin, à travers leurs projets d'examen et leurs projets de thèse de Master Professionnel.

1 – INTRODUCTION

Les plate-formes d'enseignement à distance (E-learning platforms) sont de plus en plus connues et utilisées dans les établissements d'enseignement et dans le monde entier, notamment comme support aux cours de formation liés aux Technologies de l'Information et de la Communication. Les leçons vidéo, les exercices en ligne, les forums didactiques, et les interactions avec les tuteurs et les enseignants par le biais des ordinateurs font désormais partie de nombreux programmes de formation en ligne. Cependant, la plupart des apprenants ont besoin de certains outils de renforcement pour accroître l'intérêt du cours et faire avancer le processus d'apprentissage. Certaines aptitudes pratiques ne peuvent être acquises que par des

expériences interactives (Dirckinck-Holmfeld et Lorentsen, (2003)), qui ne sont pas toujours faciles à fournir dans un environnement d'apprentissage traditionnel. Dans le domaine des TIC, les programmes de licence, l'apprentissage de la configuration et de la gestion des réseaux et les pratiques liées à la sécurité impliquent des expériences pratiques avec un certain nombre d'équipements qui peuvent être inexistantes ou trop coûteuses à acquérir par les Institutions ayant des contraintes budgétaires. Un certain nombre d'outils logiciels et d'environnements ont été déjà mis au point pour aider les utilisateurs à partager les ressources de laboratoires distribués et réaliser des expériences virtuelles.

Néanmoins, les discussions en cours sur la possibilité des cours basés sur les laboratoires à travers l'enseignement à distance montrent que la plupart des enseignants universitaires sont sceptiques et croient cette option impossible ou inefficace (Kelly *et al.* (2006)). Par conséquent, peu d'universités offrent des cours à distance basés sur les laboratoires aux étudiants du domaine des Technologies de l'Information. La technologie liée aux laboratoires de réseaux virtuels (Virtual Network Lab : VNL) a été proposée comme solution à ce problème. Les produits VNL sont des plate-formes logicielles permettant de faire des expériences pratiques sur des réseaux informatiques commerciaux tels que les réseaux de production Cisco ou les réseaux basés sur l'infrastructure de Microsoft. L'expérience des cours de formation professionnelle, comme expliquée dans Caramihai et Severin (2004), a montré que les VNLs sont extrêmement importants dans le renforcement de l'apprentissage quelque soit la méthode d'enseignement utilisée ; cependant ils sont de plus en plus utilisés avec des programmes de certification gérés par les fournisseurs des équipements de réseaux. Par conséquent les VNLs commerciaux présentent plusieurs inconvénients, qui empêchent leur adoption à grande échelle par les Universités. Tout d'abord, la plupart des VNLs se concentrent sur les petits détails de l'équipement d'un fournisseur spécifique, plutôt

que sur l'amélioration de la compréhension de l'étudiant par rapport aux principes généraux de l'exploitation des équipements du réseau et de son utilisation. Deuxièmement, et peut être le plus important, les VNLs sont souvent distribués comme des "sources fermées", sous licence relative au coût opérationnel en fonction du nombre d'utilisateurs, ce qui oblige les Institutions à faire des budgets basés sur le nombre d'étudiants plutôt que sur les ressources disponibles. Enfin, les VNLs commerciaux exigent des ressources de calcul puissantes, étant donné qu'ils fournissent une interaction "active" avec des équipements de simulation de réseau. Ainsi, leur frais d'hébergement doit être pris en compte.

Ces trois facteurs peuvent rendre difficile l'adoption des VNLs commerciaux parce que soit *i*) le logiciel et le matériel sont onéreux et donc leur coût constitue un problème majeur ou *ii*) le nombre élevé d'étudiants, qui est un phénomène fréquent dans les pays en voie de développement.

Dans cet article, nous décrivons premièrement l'architecture du laboratoire virtuel open source (Open Virtual Lab : OVL), déjà décrit par Anisetti *et al* (2006, 2007), mis en place par le Département des Technologies de l'Information de l'Université de Milan (UNIMI-Italie) qui est un VNL conçu et mis en place à partir d'une plate-forme de logiciels open source. L'OVL est un réseau de formation complet constitué d'outils de virtualisation, accessible par le biais d'un navigateur Web standard ou un simple client SSH. Par la suite, après la présentation d'un état de l'art succinct, nous décrivons les différents projets de collaborations de notre département avec un Institut de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin) en Afrique de l'Ouest pour montrer les différentes possibilités et avantages qu'offre l'utilisation à distance de cet outil virtuel mais efficace dans le domaine de l'enseignement.

2 – L'APPROCHE OVL

Le projet OVL est né suite au besoin de fournir aux étudiants du cours "en ligne" dans la filière « Sécurité des Systèmes Informatiques et des Réseaux » de l'Université de Milan, un environnement complet pour les exercices de programmation distribuée et de configuration des réseaux. Avec l'OVL, l'Université met à la

disposition de chaque étudiant un système complet composé de tous les logiciels nécessaires (compilateurs, contrôleurs de réseau, etc.) pour pouvoir faire les exercices et explorer l'environnement Linux, avec tous les droits administratifs. De cette façon, les étudiants ont tous les moyens pour s'exercer sur un environnement réel. En outre, l'OVL a été utilisé dans le contexte de coopérations interactionnelles avec des universités étrangères, en particulier avec l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin, pour les étudiants de Génie Informatique.

L'OVL est basé sur Xen, un système de *paravirtualisation* qui permet l'implémentation d'un environnement virtuel complet. Chaque Machine Virtuelle (Virtual Machine : VM) est composée d'une image physique du Système d'Exploitation (Linux ou Windows) et de tous les logiciels nécessaires. L'OVL est mis en place pour soutenir les opérations de type « scale-up » et « scale-down ». Dans une approche *scale-up*, le système est étendu en ajoutant de nouveaux dispositifs à une Machine Virtuelle déjà existante, par la modification de fichiers de configuration spécifiques, selon les exigences du cours et du projet. Tandis que, dans une approche « scale-out », le système est étendu en ajoutant des nouvelles Machines Virtuelles. Cette fonctionnalité est exploitée dans le cas où de nouveaux étudiants arrivent ou lorsque le projet nécessite de nouvelles machines.

Les étudiants ont accès à l'OVL simplement par le biais d'un logiciel de connexion avec SSH (par exemple *Putty*) en utilisant l'adresse internet publique de l'OVL sur un port spécifique. L'exemple de la Fig. 1 montre la structure de l'OVL et comment avoir accès à la VM1. L'utilisateur se connecte au pare-feu de l'OVL sur le port 10001 et la communication est automatiquement redirigée sur l'adresse intérieure de la VM1 (dans ce cas 10.0.0.1) sur le port 22 avec SSH.

La philosophie de base de l'OVL est différente d'autres approches d'implémentation de laboratoires virtuels, comme par exemple le logiciel Packet Tracer, décrit dans la Section 3, qui est produit par Cisco et utilisable seulement pour simuler des réseaux Cisco. Au contraire, l'OVL adopte une approche flexible et indépendante du type de réseaux, de la plateforme et des paramètres de configuration.

En particulier, les principaux objectifs du laboratoire virtuel « open source » peuvent se résumer comme suit :

1. Rendre concret l'enseignement dans le domaine des réseaux informatiques : les cours traditionnels ne fournissent pas une interaction effective avec les étudiants. L'OVL permet ainsi à l'étudiant de faire des expériences concrètes liées aux réseaux. L'objectif principal de l'OVL est de permettre un accès simple d'utilisation et de faciliter la maintenance.

2. Fournir un accès personnel et privilégié aux étudiants : l'OVL fournit aux étudiants un accès à leurs propres machines virtuelles en jouissant de tous les droits administrateurs. Ainsi, chaque étudiant a un control total de sa propre machine et peut y effectuer toutes les configurations dont il a besoin pour faire des expérimentations réelles.

3. Permettre la virtualisation : l'OVL permet la mise en place de "réseaux virtuels internet" en permettant la communication entre les machines virtuelles des étudiants d'une même classe. Cette caractéristique permet aux étudiants de faire des expériences sur la Programmation Réseaux (Librairie Socket, Appel de procédures distantes, etc.) et de mettre en place leur propre application Client-Serveur dans un environnement de réseau virtuel. De plus l'OVL facilite la collaboration et le travail en groupe entre les étudiants d'un même sous réseaux.

4. N'exige pas d'énormes ressources informatiques : Du point de vue éducationnel, l'OVL offre aux enseignants ainsi qu'aux étudiants de grandes facilités. Entre autres, on note la simplicité qui permet une connexion aux machines virtuelles même avec une petite bande passante via un client SSH. De plus, L'OVL offre un accès rapide à distance même avec des ordinateurs de basse ou moyenne performance (processeur, capacité mémoire, etc.).

3 – ETAT DE L'ART

Les premières recherches sur les laboratoires virtuels décrivaient les équipements virtuels créés en utilisant les logiciels de simulation, tels que *MatLab* et *Simulink* (Bonivento *et al.* (2006)), en se référant à plusieurs branches de

l'ingénierie plutôt qu'aux Technologies de l'Information et de la Communication.

Par exemple, dans Nelson et Islam (2006) les auteurs présentent un logiciel web pour former les étudiants d'Ingénierie en Micro-ondes sur la conception de filtres analogiques.

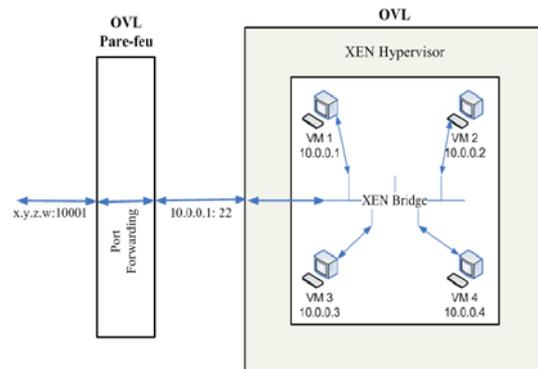


Fig. 1: Communication entre OVL et les usagers extérieurs.

D'autres logiciels intéressants ont été conçus dans des projets européens, comme le laboratoire « Virtual-Electro-Lab » dans le projet pilote « Leonardo da Vinci » décrit par Scutaru *et al.* (2004). Un laboratoire web virtuel est présenté par Garcia et Alesanco (2004) dans le domaine de la gestion de la mémoire cache. Actuellement, les chercheurs qui travaillent sur le laboratoire virtuel sont tout à fait conscients du fait d'éviter de se baser sur des systèmes d'exploitation commerciaux et propriétaires. Ainsi les recherches récentes se basent sur la technologie Java (Colace *et al.* (2004)).

Proche des objectifs de cet article, le travail fait par Grigoriadou *et al.* (2006) présente un environnement web pour la gestion des réseaux, qui peut être utilisé par des étudiants pour leur formation en administration des réseaux web à travers le protocole SNMP (Simple Network Management Protocol). Les travaux de Hu *et al.* (2004, 2005) développent l'idée d'un système complet d'exercice pour les cours des Technologies de l'Information appelé *Telelab*, qui fournit aux étudiants un ensemble de machines virtuelles *ad-hoc* configurées pour des exercices particuliers de sécurité. Cependant toutes ces approches de laboratoires virtuels ne permettent pas aux étudiants le contrôle total de l'environnement. De plus, ils se focalisent seulement sur un domaine spécifique ou même un sujet

particulier. Ces limitations constituent des obstacles pour une expérimentation ouverte et une interaction réelle qui représente une opportunité importante pour les étudiants universitaires.

Comme mentionné dans notre introduction, plusieurs VNL commerciaux sont déjà disponibles et ont pour objectif de fournir des expériences pratiques sur des équipements spécifiques de réseaux, par exemple les routeurs et les switches Cisco. Ainsi le laboratoire virtuel Sibex est un simulateur de routeur Cisco-compatible mis en place pour satisfaire les exigences établies dans le livre de Todd Lammle (2001) sur la configuration des réseaux.

Une approche plus générale a été considérée par des entreprises, comme Surgient et Akimbi, qui offrent des VNLs pour des tests et des évaluations de logiciels. Ils permettent une mise en œuvre et une exécution facile des configurations qui impliquent des VMs distribuées sur plusieurs serveurs.

Une recherche similaire à l'implémentation décrite dans cet article, basée sur un logiciel open-source est le projet MLN (Manage Large Networks), qui est un environnement pour la gestion des VM conçues en se basant sur Xen et User-Mode Linux. MLN n'est pas utilisé seulement pour l'éducation, mais peut être utilisé aussi pour créer, tester des laboratoires de réseaux virtuels d'enseignement simplement sous Linux.

Enfin, le logiciel Packet Tracer, décrit dans Goldstein *et al.* (2005), pour la simulation des réseaux, produit par Cisco et utilisé pendant les cours de «Cisco Academy Network», permet de simuler le comportement des systèmes réels. Contrairement à l'OVL, le logiciel Packet Tracer est disponible seulement pour les étudiants de «Cisco Academy» et est utilisé en particulier sur les équipements Cisco.

4 – ETUDES DE CAS

Anisetti *et al* (2006, 2007) ont fait un travail préalable qui a décrit en détail les différentes composantes de l'OVL de L'Université de Milan et ses atouts. Ils ont fait cas aussi des toutes premières expériences pratiques faites par les étudiants de l'IMSP au Bénin et les étudiants de l'Université de Milan. En effet, l'OVL a été exploité dans de nombreux et

différents contextes que ce soit en Italie ou à l'international. En particulier, dans la cette section, nous nous concentrerons sur les expériences mûries pendant la coopération entre l'Université de Milan et l'Institut de Mathématiques et de Sciences Physiques (IMSP), situé au Bénin, petit pays de l'Afrique de l'Ouest. Un des auteurs de ce papier offre des services d'enseignement pour le cours de courte durée de Sécurité des Réseaux au profit des étudiants en Télécommunications.

Les cours de courte durée de l'IMSP sont organisés comme des "missions d'enseignement" d'une durée d'une semaine. Chaque mission d'enseignement est composée de deux professeurs venant de l'étranger qui alternent l'enseignement de leurs sujets. Normalement, la matinée (4 heures) est consacrée à un seul sujet, et l'autre est enseigné dans l'après-midi, de sorte que chaque cours comprend 20 heures d'enseignement. Après la fin de la mission d'enseignement, les étudiants se retrouvent avec quelques exercices de laboratoire à faire, sous la direction des enseignants locaux.

Le laboratoire dans lequel les étudiants de l'IMSP travaillent habituellement est composé de quelques postes de travail de puissance moyenne, chacun d'eux avec une seule interface réseau. Ce type de configuration ne permet pas aux étudiants de s'exercer dans la configuration d'un pare-feu ou de routeur, puisque les exercices de configuration exigent au moins un serveur avec deux ou plusieurs interfaces réseau et une bonne connexion réseau.

Il faut remarquer que cette situation est commune à la plupart des instituts des pays en voie de développement, en particulier à ceux qui ont des moyens économiques très limités. L'installation et surtout, la maintenance d'un laboratoire informatique complet et actualisé entraîne des coûts élevés que la plupart des Universités ne peuvent pas affronter. Les études publiées, comme pour exemple dans Weibel (2008) et Storactive (2003), ont démontré que l'investissement nécessaire pour installer un laboratoire moderne d'environ 12 PCs, en changeant périodiquement les machines obsolètes, peut s'élever à 20.000 USD par an. A ce chiffre doit être ajouté le coût nécessaire afin d'engager un technicien qualifié pour la gestion et surtout, la

maintenance du laboratoire. En particulier, les coûts de maintenance sont évalués entre 250 USD et 600 USD par machine.

Dans le cas particulier de l'Université de Milan, l'OVL a été mis en place en 2007 et les frais d'acquisition du serveur ont été évalués à environ 10000 USD. Durant ces 3 premières années d'utilisation, sa gestion et sa maintenance ordinaires ont été confiées aux administrateurs du réseau interne de l'Université. Tandis que le coût de la maintenance extraordinaire peut être estimé à environ 1000 USD tous les 3 ans pour l'extension de la capacité du disque de stockage afin de satisfaire les besoins des utilisateurs.

Ces données démontrent encore une fois que la mise en place et la maintenance d'un laboratoire moderne n'est pas à la portée de toutes les Institutions des pays en voie de développement. Ainsi, l'OVL fournit deux solutions efficaces, en permettant aux Universités de ces pays de mettre en place un laboratoire informatique complet à peu de frais ou soit d'utiliser à distance un laboratoire virtuel d'une autre Institution par le biais d'une collaboration.

Dans le cas de l'Université d'Abomey-Calavi, la deuxième solution a été choisie. Les étudiants peuvent se connecter à distance à un groupe de VMs de l'OVL, toutes configurées *ad-hoc* (avec deux ou plusieurs interfaces réseaux). Chaque machine virtuelle peut agir en tant que pare-feu, routeur, ou client, sur laquelle les étudiants peuvent effectuer tout type de configurations réseau en simulant l'environnement réel et complexe des réseaux.

Les études de cas présentées couvrent deux différentes situations. La première partie (Section 4.1) décrit le sujet d'évaluation donné aux étudiants du cours de deuxième année de la formation d'ingénierie, en focalisant l'attention sur l'utilisation de l'OVL. La partie suivante (Section 4.2) concerne l'utilisation de l'OVL par les étudiants pour la préparation de leur mémoire de thèse.

4.1 - Expérience d'utilisation de l'OVL pour les examens des étudiants

4.1.1 Première étude de cas

L'exercice de laboratoire suivant a été donné aux étudiants de l'année académique

2006/2007 et concerne l'utilisation et la configuration d'un pare-feu *IPTables* sur un réseau virtuel. Nous présentons ci-après l'énoncé de l'exercice et la solution proposée par les étudiants.

Enoncé de l'exercice : Considérez la topologie de réseau de la figure Fig. 2. Fournissez le script qui configure le pare-feu en implémentant les règles suivantes.

- Permettre HTTP et les connexions SSH.
- Permettre le trafic FTP passif.
- Autoriser les flux SMTP uniquement pour les hôtes appartenant au sous-réseau 10.0.X.0/24.
- Implémenter le service NAT.
- Rediriger toutes les connexions provenant du port TCP 22 vers l'hôte spécifique.
- Rediriger le trafic du port TCP 8080 sur le port TCP 80.

Pour tester la configuration du pare-feu, exécutez le script sur la machine virtuelle qui sert de pare-feu et configurez les autres machines virtuelles afin qu'elles agissent comme des hôtes du sous-réseau 10.0.X.0/24 et du sous-réseau 10.0.Y.0/24, et en tant qu'un hôte générique de l'Internet.

Solution proposée : Les étudiants ont testé leur configuration sur l'OVL en utilisant quatre machines virtuelles, chacune avec sa configuration réseau particulière, pour agir respectivement en tant que pare-feu, client Internet générique, et deux hôtes du sous-réseau. Les configurations de réseaux complexes, qui exigent généralement des stations de travail *ad-hoc* préparé au préalable ou des logiciels coûteux de virtualisation, pourraient être une expérience facile avec OVL en disposant seulement d'une faible bande passante et d'une simple connexion par téléphone. Les étudiants ont été confrontés à des problèmes du monde réel, de travail en groupes, et ont trouvé une solution, en configurant leurs machines virtuelles pour agir en tant que pare-feu et hôte du système.

Ils ont aussi testé leur architecture en générant du trafic d'une machine virtuelle à l'autre à travers le pare-feu, demandant des accès de connexion, et contrôlant si le trafic a été correctement redirigé et filtré. Les résultats de l'examen ont été très satisfaisants et les étudiants ont acquis une bonne expérience en ce qui concerne la configuration des pare-feux et des réseaux en général.

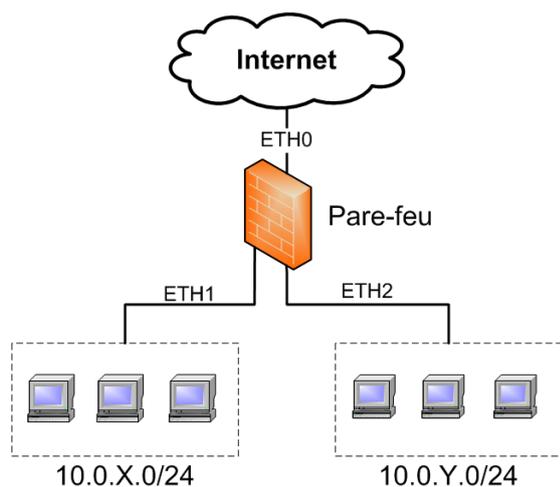


Fig. 2 : Réseau virtuel utilisé pour la première étude de cas.

4.1.2 - Deuxième étude de cas

Pendant l'année académique 2008/2009, l'exercice donné aux étudiants a été modifié pour couvrir diverses exigences didactiques. Le professeur du cours a divisé les participants en trois groupes et leur a assigné un exercice sur la sécurité des réseaux, en se focalisant sur les pare-feux dynamiques et les méthodes d'authentification.

Chaque groupe avait à disposition un environnement virtuel composé d'un client extérieur, d'une VM avec le pare-feu *IPTables* configuré et d'un client intérieur protégé par le pare-feu. Le premier client essaie d'établir une connexion avec le deuxième en passant par le pare-feu, qui peut accepter ou refuser la requête. Les deux clients ont chacun une interface réseau, sur différents sous-réseaux, alors que le pare-feu a deux interfaces de réseaux.

Enoncé de l'exercice : avant de traiter l'exercice, les étudiants doivent installer le logiciel *Snort* (www.snort.org), une application open source pour la détection et la prévention des accès externes, sur le pare-feu. Ensuite, ils doivent simuler une attaque de « port scanning » à partir du client externe vers le client interne. Les étudiants doivent démontrer qu'ils sont en mesure d'identifier de façon automatique cette attaque et ajouter une règle au script de la chaîne *IPTables* qui doit bloquer tous les paquets provenant de l'adresse IP de la machine responsable de l'attaque.

Dans le même temps, les trois groupes doivent illustrer comment mettre en place un serveur

pour l'authentification Kerberos. Donc, ils doivent mettre en place le serveur sur le réseau virtuel, mettre en place les autorisations d'authentification sur les clients et montrer un exemple complet d'utilisation. Au moment de la rédaction de cet article, les trois groupes sont en train de travailler sur le projet d'examen.

4.2 - Expérience d'utilisation de l'OVL pour les mémoires des étudiants

Outre l'utilisation de l'OVL par les étudiants de l'IMSP dans le but de l'approfondissement et de la maîtrise des notions acquises durant le cours théorique, il est également utilisé par les étudiants qui sont en fin de formation et doivent réaliser un projet pratique donné dans une entreprise bien déterminée.

4.2.1 Tests de certification ISCA : cas du firewall open source Endian Community

Le travail de thèse de Master Professionnel fait par un étudiant de l'IMSP consistait à faire la mise en œuvre de tests en vue de la certification ICSA du firewall open Source Endian Community. En effet, la certification est un processus qui délivre un certificat de conformité ou document attestant qu'un outil est conforme à un ensemble de spécifications données. Ainsi, au nombre des sociétés de certification de logiciels de sécurité, se trouve ICSA Labs (International Computer Security Association), une division indépendante de Verizon Business, qui propose aux constructeurs des solutions de sécurité, des tests, diagnostics et certifications de leurs produits. Son but est donc de tester les produits variés tels qu'antivirus, firewall, VPN IPSec, firewall personnel, etc. ICSA dispose de textes comportant les exigences à remplir par un firewall pour obtenir la certification ICSA. Les exigences de base sont liées aux critères comme le logging, l'administration, la persistance, le test fonctionnel, le test de sécurité et la documentation.

La configuration du réseau virtuel, implémenté en exploitant l'OVL sur le lequel l'étudiant a fait ses tests est montrée dans la Fig. 3.

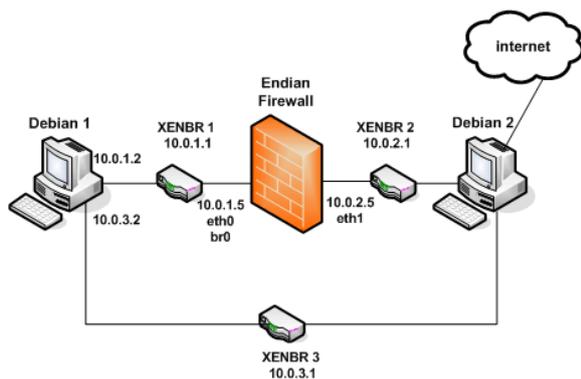


Fig. 3. Configuration du réseau virtuel pour les tests du firewall Endian.

La configuration logicielle de l'environnement est la suivante :

- La machine firewall tourne uniquement l'Endian Community Firewall comme système d'exploitation.
- Les machines attaquantes tournent la distribution linux Debian et des outils de test y sont installés.
- Les machines victimes tournent sous Debian et en fonction du type de test, d'autres outils sont ajoutés.

Deux tests fondamentaux ont été faits :

- *Test du logging*: ce test consiste à faire l'inventaire des événements que le firewall est en mesure d'enregistrer et la correspondance entre ces événements et les exigences de ICSA concernant le logging.
- *Test de sécurité*: Premièrement il a été faite la découverte du réseau avec les outils

Chaîne	Iface	Proto	Source	Src Port	Adresse MAC	Destination	Dst Port
BADTCP	eth1	TCP	10.0.1.2	1634	aa:00:10:00:02:03	10.0.2.5	4443
BADTCP	eth1	TCP	10.0.1.2	1635	aa:00:10:00:02:03	10.0.2.5	4443
BADTCP	eth1	TCP	10.0.1.2	1636	aa:00:10:00:02:03	10.0.2.5	4443
BADTCP	eth1	TCP	10.0.1.2	1637	aa:00:10:00:02:03	10.0.2.5	4443
BADTCP	eth1	TCP	10.0.1.2	1638	aa:00:10:00:02:03	10.0.2.5	4443
BADTCP	eth1	TCP	10.0.1.2	2438	aa:00:10:00:02:03	10.0.2.5	4443
BADTCP	eth1	TCP	10.0.1.2	3162	aa:00:10:00:02:03	10.0.2.5	4443
BADTCP	eth1	TCP	10.0.1.2	3853	aa:00:10:00:02:03	10.0.2.5	4443
BADTCP	eth1	TCP	10.0.1.2	3854	aa:00:10:00:02:03	10.0.2.5	4443
BADTCP	eth1	TCP	10.0.1.2	3855	aa:00:10:00:02:03	10.0.2.5	4443

Fig 4 : Imprime-écran d'une attaque SYN Flood avec le pare-feu open source Endian simulé dans OVL.

Nmap (Network Mapper, scanner de réseau et de machines), *Nessus* (scanner de vulnérabilités) et ensuite la mise en œuvre d'un déni de service par l'attaque *Syn Flood*.

Les résultats des tests ont montré que le firewall Endian remplit la majeure partie des exigences d'ICSA et a bloqué l'attaque Syn Flood en signalant la chaîne "BADTCP" (Fig. 4).

4.2.2 - Mise en place d'un réseau privé Virtuel

Le travail de thèse décrit ci-dessous est en cours de simulation sur l'OVL en utilisant un ensemble de six Machines Virtuelles. Le schéma montré par la Fig. 5 montre une représentation du réseau fourni par l'étudiant. Le système est composé de trois sous-réseaux indépendants qui sont connectés par deux pare-feux. Le but de la thèse est d'étudier une solution pour établir un mécanisme de Réseau Privé Virtuel (*Virtual Private Network : VPN*) pour une entreprise qui veut permettre l'accès à son réseau interne seulement aux clients autorisés. Les stations de travail (clients externes) qui sont à l'extérieur du réseau local peuvent communiquer avec le client interne au réseau local seulement par le biais du serveur VPN qui se chargera d'établir une connexion avec ce dernier. Il a été prévu dans le réseau local, un firewall intérieur pour accepter seulement les connexions provenant du serveur VPN, et autoriser les connexions provenant du client interne.

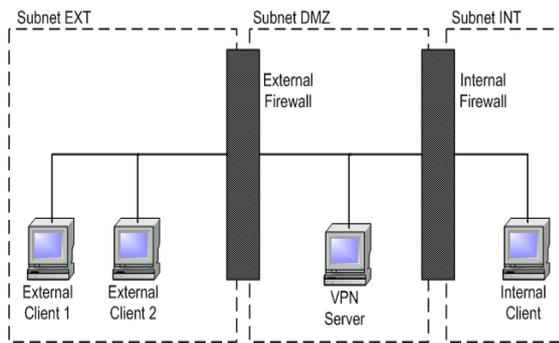


Fig. 5 : Simulation du réseau VPN

Du point de vue technique, tous les nœuds du réseau sont des machines virtuelles avec des caractéristiques spécifiques. Les clients extérieurs sont des systèmes Linux sur lesquels a été configuré le logiciel *openVPN client*, tandis que les pare-feux sont des systèmes Linux avec *IPTables* configuré en suivant les caractéristiques des sous-réseaux qu'ils administrent. En outre, le serveur VPN est un système Linux sur lequel est installé et configuré *openVPN server* afin d'accepter les connexions provenant des clients externes et destinées aux clients internes. Enfin, le firewall externe est mis en place pour contrôler toutes les demandes de connexion d'accès au VPN provenant de l'extérieur.

Ce système permet à l'étudiant de simuler le réseau réel de l'Entreprise dont elle doit mettre en place un système pour sécuriser le transfert de données entre les différentes agences à travers le VPN. Le rôle des pare-feux est de permettre les communications avec le réseau interne seulement à travers le serveur VPN comme cela se produit dans le contexte réel. Ce projet est actuellement en phase de réalisation.

5 – Conclusion

Les VNLs commerciaux sont devenus très importants pour le renforcement des cours de TIC (Technologies de l'Information et de la Communication), mais leur coût élevé a rendu leur adoption presque impossible pour les Institutions avec une ligne de budget très limitée.

Le laboratoire virtuel OVL, décrit dans cet article, offre une solution open source qui peut fournir tous les instruments nécessaires pour les exercices pratiques dans le domaine des TIC en ce qui concerne la configuration et la

sécurité des réseaux. Ainsi les Institutions qui adoptent l'OVL peuvent faire la mise en place d'un laboratoire informatique complet à peu de coût ou utiliser à distance un OVL externe.

Les cas d'études présentés montrent comment le système a été utilisé avec succès en coopération avec l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin, à travers leurs projets d'examen et leurs projets de thèse de Master Professionnel. L'utilisation à distance de l'OVL installé à l'intérieur de l'Université de Milan a permis à cette Université de préparer ses étudiants à affronter les problèmes complexes et réels de configuration de réseaux, en ayant à disposition seulement des ordinateurs pas trop performants avec une faible bande passante de connexion par téléphone.

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent un profond remerciement aux administrateurs du laboratoire de l'IMSP, en particulier Dr. Eugène EZIN pour sa disponibilité.

Ce travail a été en partie financé par la Commission Européenne avec le projet SecureSCM (contrat n. FP7-213531) et par le Ministère Italien pour la Recherche avec le projet FIRB TEKNE (contrat n. RBNE05FKZ2_004).

BIBLIOGRAPHIE

- Anisetti, M. Bellandi, V. Colombo, A. Cremonini, M. Damiani, E. Frati, F. Hounsou, J.T. Rebecani, D. (2007) "Learning Computer Networking on Open Paravirtual Laboratories", in *IEEE Trans. On Educ.*, vol. 50, n. 4, pp. 302-310.
- Anisetti, M., Bellandi, V., Damiani, E., Frati, F., Raimondi, U., Rebecani, D. (2006) "The open source virtual lab: A Case study," in *Proc. 1st Workshop Free and Open Source Learning Environments and Tools*, Lugano, Switzerland, 2006, vol. 6, pp. 5-12.
- Bonivento, C., Gentili, L., Marconi, L., Rappini, L. (2006) "A web-based laboratory for control engineering education," in *Proc. 2nd Int. Workshop Tele-Education in Engineering Using Virtual Laboratories*, Sherbrooke, QC, Canada, pp. 45-56.

- Caramihai, M., Severin, I. (2004) "E-learning & vocational training within Leonardo da Vinci projects: The Romanian case study," in *Proc. 1st Int. Workshop e-Learning and Virtual and Remote Laboratories*, Setubal, Portugal, pp. 31–39.
- Colace, F., De Santo, M., Pietrosanto, A. (2004) "Work in progress—Virtual lab for electronic engineering curricula," in *Proc. 34th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conf.*, Savannah, GA, pp. 22–24.
- Dirckinck-Holmfeld, L., Lorentsen, A. (2003), "Transforming university practice through ICT-integrated perspectives on organizational, technological, and pedagogical change," *Interactive Learn. Environ.*, vol. 11, no. 2, pp. 91–111.
- García, J., Alesanco, A. (2004) "Web-based system for managing a telematics laboratory network," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 47, no. 2, pp. 284–294.
- Goldstein, C., Leisten, S., Stark, K., Tickle, A. (2005) "Using a network simulation tool to engage students in active learning enhances their understanding of complex data communications concepts," in *Proc. 7th Australasian Computing Education Conf.*, Newcastle, NSW Australia, pp. 223–228.
- Grigoriadou, M., Kanidis, E., Gogoulou, A. (2006) "A web-based educational environment for teaching the computer cache memory," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 49, no. 1, pp. 147–156.
- Hu, J., Meinel, C., Schmitt, M. (2004) "Tele-lab IT security: An architecture for interactive lessons for security education," in *Proc. 35th Technical Symp. Computer Science Education*, Norfolk, VA, pp. 412–416.
- Hu, J., Meinel, C., Schmitt, M. (2005) "Virtual machine management for tele-lab IT-security server," in *Proc. 10th IEEE Symp. Computers and Communications*, Cartagena, Spain, pp. 448–453.
- Lammle, T., Tedder, W.D., Tedder, B. (2001) *CCNA Virtual Lab Gold Edition*. Hoboken, NJ: Sybex.
- Nelson, R.M., Islam, A.N.M.S. (2006) "MES: A web-based design tool for microwave engineering," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 49, no. 1, pp. 67–75.
- Kelly, L., Morrell, M., Beasley, J. (2006) "Delivering laboratory based courses via distance education," in *Proc. Science, Engineering and Technology Education Conf.*, Las Cruces, NM, pp. 10–14.
- Scutaru, G., Rodrigues, L., Raes, P., Sorea, D. (2004) "Didactical software tools on electrical circuits and electrical machines," in *Proc. 1st Int. Workshop e-Learning and Virtual and Remote Laboratories*, Setubal, Portugal, pp. 12–19.
- Storactive (2003) "Reducing the Total Cost of Ownership of Corporate PC Fleets," available at: www.intellistor.co.za/Atempo/LiveBackup_TCO_White_Paper.pdf
- Weibel, L. (2008) "The cost of personal computers in the science teaching laboratory," available at: www.measurenet-tech.com/DataAcquisitionandTheCostofPCsInTheScienceTeachingLaboratory.html