

Réduction de la fracture numérique par la création de cyber espaces :

application au système éducatif malien



POST TENEBRAS LUX

Observatoire technologique
DCTI
République et canton de Genève

Travail de diplôme réalisé en vue de l'obtention du diplôme HES

par :

Samuel CARRUPT

Conseiller au travail de diplôme :

Enrico VIGANO, Professeur HES

Genève, Novembre 2006

Haute École de Gestion de Genève (HEG-GE)

Filière Informatique de gestion

Déclaration

Ce travail de diplôme est réalisé dans le cadre de l'examen final de la Haute école de gestion de Genève, en vue de l'obtention du titre de Bachelor d'informaticien de gestion HES. L'étudiant accepte, le cas échéant, la clause de confidentialité. L'utilisation des conclusions et recommandations formulées dans le travail de diplôme, sans préjuger de leur valeur, n'engage ni la responsabilité de l'auteur, ni celle du conseiller au travail de diplôme, du juré et de la HEG.

« J'atteste avoir réalisé seul le présent travail, sans avoir utilisé des sources autres que celles citées dans la bibliographie. »

Fait à Genève, le 22.11.2006

Samuel Carrupt

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier le Professeur Enrico Viganò qui a accepté de m'accompagner dans la réalisation de mon travail de diplôme. Ses conseils m'ont été très utiles pour l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie tout particulièrement le Dr Dominique Hausser qui m'a accordé sa confiance en me permettant d'intégrer l'équipe du projet "Cyber Edu". J'ai eu énormément de satisfaction à le côtoyer tout au long du projet.

Je remercie vivement le Professeur Arturo Montejo Ráez pour m'avoir apporté un nouvel éclairage sur les logiciels libres. Ses grandes connaissances techniques et son envie constante de les partager m'ont énormément appris.

J'aimerais encore remercier M. David Crisinel qui m'a apporté toute son aide pour la mise en place du VPN. Ses conseils avisés ont permis d'atteindre d'excellents résultats sur le terrain.

Je souhaite également remercier M. Nils Buss qui m'a soutenu durant mon stage à l'observatoire technologique. Sa disponibilité et ses conseils ont été d'une grande aide pour la réalisation de mon travail de diplôme.

Finalement, je tiens à remercier Mlle Elvire Henrichot qui m'a apporté tout son soutien dans l'élaboration de ce travail.

Sommaire

L'objectif de ce document est de faire part du vécu relatif au travail de recherche appliquée effectué dans le cadre de la mise en place de cyber espaces dans le système éducatif malien.

Ce travail de recherche a été réalisé dans le cadre du projet "Cyber Edu". Le projet "Cyber Edu" est le fruit d'une collaboration entre l'Observatoire Technologique (OT) du canton de Genève, la Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement (CNUCED) et le gouvernement malien. L'objectif du projet "Cyber Edu" est le transfert de technologies et de compétences au Mali en vue de réduire la fracture numérique. A cette fin, des écoles ont été équipées avec du matériel informatique et des utilisateurs ont été formés à l'utilisation et à la maintenance de cet équipement. La Haute Ecole de Gestion de Genève (HEG), ainsi que l'Université de Jaén ont participé activement à la réalisation de ce projet.

Le projet "Cyber Edu" correspond à la deuxième phase des accords d'aide aux Pays en Voie de Développement (PVD) signés par le canton de Genève. Une première mission avait déjà eu lieu en 2005 sous le nom de "PC Project in Lesotho". Ma participation à ce premier projet m'a permis de mieux appréhender les problèmes des PVD.

Ma contribution au projet "Cyber Edu" a consisté à proposer, tester et valider des choix techniques et pratiques pour l'installation des réseaux locaux dans les écoles, ainsi que documenter chaque procédure d'installation sous la forme de Howto. Lors de la formation des utilisateurs au Mali, ma tâche principale a consisté à encadrer les participants et d'appuyer les techniciens de l'Agence des Technologies de l'Information et des Communication (AGETIC) du Mali pour la préparation du matériel à installer dans les cyber espaces.

L'approche méthodologique a visé à définir les objectifs du projet et déterminer les tâches nécessaires pour les réaliser. Une phase d'analyse a permis de proposer des solutions techniques pour la réalisation de ces tâches. Ces solutions ont été validées au laboratoire de l'OT. L'étape suivante a consisté à mettre en oeuvre sur le terrain les solutions préconisées, tout en intégrant les adaptations nécessaires. Finalement, une nouvelle phase de développement au laboratoire de l'OT a été planifiée, afin de répondre aux problèmes qui n'ont pas pu être résolus sur place. Un bilan des solutions mises en oeuvre permettra de savoir si les choix techniques étaient adaptés au

contexte. L'approche méthodologique que nous avons appliquée s'est avérée en adéquation avec le contexte malien.

Le projet "Cyber Edu" a également représenté un énorme gain technique pour toute l'équipe d'encadrement. Ayant été validés par leur mise en application au Mali, les documents rédigés dans le cadre de ce projet pourront être réutilisés avec quelques adaptations pour d'autres applications. Cette expérience nous laisse donc penser qu'il est tout à fait possible de mettre en place une infrastructure professionnelle avec des logiciels libres.

Table des matières

Déclaration	i
Remerciements.....	ii
Sommaire.....	iii
Table des matières.....	v
Liste des Tableaux	x
Liste des Figures.....	x
Introduction	1
1. Justification du projet.....	6
1.1 Société de l'information.....	6
1.2 Fracture numérique.....	6
1.3 Fracture numérique rurale.....	6
1.4 Investissement dans les nouvelles technologies.....	7
1.5 Cyber Edu.....	7
2. Choix des logiciels.....	8
2.1 Logiciels libres.....	8
2.2 Ubuntu.....	8
3. Expérience personnelle.....	9
3.1 Intégration dans le projet.....	9
3.2 Expérience avec les logiciels libres.....	9
4. Planification et tâches.....	10
4.1 Planification.....	10
4.2 Déroulement.....	10
4.3 Date limite.....	12
5. Environnement de travail.....	13
5.1 Laboratoire de l'OT.....	13
5.2 Salle de cours à l'AGETIC.....	13
5.2.1 Architecture.....	14
5.2.2 Réseau électrique.....	15
5.3 Salles des cyber espaces dans les écoles.....	15
5.4 Ancrage à l'AGETIC.....	16
5.5 Université de Bamako.....	16
6. Méthodologie.....	17
6.1 Approche.....	17
6.2 Démarche.....	17
6.2.1 Fixer les objectifs et mettre en évidence les problèmes.....	17

6.2.2	<i>Proposer des solutions</i>	17
6.2.3	<i>Mettre en oeuvre les solutions</i>	18
6.2.4	<i>Affiner les solutions sur la base de l'étape 3</i>	19
6.2.5	<i>Faire un bilan de la mise en oeuvre des solutions</i>	19
7.	Mise en application de l'approche méthodologique	20
7.1	Mise en évidence des problèmes	20
7.2	Analyse des problèmes et solutions	20
7.2.1	<i>Mettre en place un réseau local</i>	20
7.2.1.1	NAT	21
7.2.1.2	DNS	21
7.2.1.3	DHCP	22
7.2.1.4	NTP	22
7.2.1.5	HTTP	23
7.2.1.6	Gestion des services	23
7.2.1.7	Proxy	23
7.2.1.8	Administration	23
7.2.1.9	Impression	24
7.2.1.10	SMTP	24
7.2.1.11	LDAP	24
7.2.2	<i>Valider la mise en place de la plate-forme moodle</i>	25
7.2.3	<i>Faire communiquer les plate-formes moodle</i>	26
7.2.3.1	DynDNS	26
7.2.3.2	Monter un serveur DNS dynamique	26
7.2.3.3	Installer un VPN	27
7.2.4	<i>Proposer une stratégie d'adressage</i>	29
7.2.4.1	Plan d'adressage	29
7.2.4.2	Méthodologie	29
7.2.4.3	Réseau VPN	30
7.2.4.4	Évolution	30
7.2.5	<i>Proposer une stratégie de sauvegarde</i>	30
7.2.5.1	Méthode	30
7.2.5.2	Lieu de sauvegarde	31
7.2.5.3	Politique de sauvegarde	31
7.2.5.4	Répertoires sauvegardés	31
7.2.5.5	Améliorations	32
7.2.6	<i>Proposer une stratégie d'administration du réseau</i>	32
7.2.7	<i>Économiser la bande passante</i>	33
7.2.7.1	Dépôt local	33
7.2.7.2	Apt-cacher	34
7.2.8	<i>Proposer une stratégie d'utilisation des disques durs sur les serveurs</i>	34
7.2.8.1	Idée retenue	35
7.2.9	<i>Réfléchir au problème d'instabilité du réseau électrique</i>	35
7.2.9.1	Mesures	36
7.2.10	<i>Mettre en place une infrastructure sécurisée</i>	36
7.2.10.1	Règles de sécurité	36
7.2.10.2	Gestion des mots de passe	37
7.2.10.3	GRUB	38
7.2.10.4	Séquence de démarrage	38
7.2.10.5	Firewall	38

7.2.10.6	Virus.....	42
7.2.10.7	Mise à jour.....	43
7.2.10.8	Messages non sollicités.....	43
7.2.11	<i>Inventorier le matériel.....</i>	44
7.2.11.1	Le moment de l'inventaire.....	44
7.2.11.2	Système de numérotation.....	44
7.2.12	<i>Organiser l'industrialisation des installations.....</i>	45
7.2.12.1	Contexte.....	45
7.2.12.2	Solution.....	46
7.2.12.3	Avantages.....	47
7.2.12.4	Contraintes.....	47
7.2.12.5	Problèmes rencontrés.....	47
7.2.12.6	Formatage de bas niveau.....	47
7.2.12.7	Choix de l'utilitaire de clonage.....	48
7.2.12.8	Architecture.....	48
7.2.12.9	Script d'activation et configuration.....	49
7.2.12.10	Test final.....	50
7.2.13	<i>Produire de la documentation orientée débutant.....</i>	50
7.2.13.1	Importance.....	50
7.2.13.2	Forme.....	50
7.2.13.3	Méthodologie.....	50
7.2.13.4	Distribution des documents.....	51
7.2.13.5	Licence.....	51
7.2.14	<i>Proposer des solutions pour le suivi du projet.....</i>	52
7.3	Problèmes techniques rencontrés.....	52
7.3.1	<i>Salles des écoles.....</i>	52
7.3.2	<i>Changement d'adresse IP.....</i>	52
7.3.3	<i>Installation de moodle.....</i>	53
8.	Bilan des cours.....	54
8.1	Formation en informatique.....	54
8.1.1	<i>Les participants.....</i>	54
8.2	Difficultés rencontrées durant la formation.....	55
8.3	Terrain privilégié.....	55
8.4	Cours VPN.....	56
9.	Évolution.....	57
9.1	Développement.....	57
9.2	Alternatives.....	57
Conclusion	.....	58
Glossaire	.....	59
Bibliographie	.....	62
Annexe 1		
Liste du matériel	.....	64
Annexe 2		
Schéma du laboratoire de l'OT	.....	66
Annexe 3		
Travaux à effectuer par le MEN	.....	68

Annexe 4	
Liste des tâches SCA.....	70
Annexe 5	
Installation du serveur.....	72
Annexe 6	
Installation de moodle.....	74
Annexe 7	
Installation du VPN.....	76
Annexe 8	
Plan d'adressage.....	78
Annexe 9	
Création d'un dépôt local.....	80
Annexe 10	
Script de mise à jour des postes clients.....	82
Annexe 11	
Structure des disques durs des serveurs.....	84
Annexe 12	
Installation des postes clients.....	86
Annexe 13	
Utilisation de partimage.....	88

Liste des Tableaux

Tableau 1	Liste des répertoires sauvegardés.....	31
Tableau 2	Liste des comptes d'administration.....	32
Tableau 3	Services du firewall.....	39
Tableau 4	Comptes utilisateurs sur les postes clients.....	45

Liste des Figures

Figure 1	Réseau privé des cyber espaces.....	3
Figure 2	Architecture réseau de la salle de cours.....	14
Figure 3	Architecture d'un réseau local.....	21
Figure 4	Concept du module de communication de moodle.....	25
Figure 5	Réseau VPN.....	27
Figure 6	Architecture du réseau VPN.....	28
Figure 7	Stratégie d'administration du réseau.....	32
Figure 8	Emplacement des disques durs.....	35
Figure 9	Concept de mise en place du firewall.....	38
Figure 10	Interactions du firewall – rôle de serveur.....	40
Figure 11	Interactions du firewall – rôle de client.....	40
Figure 12	Mises à jour de la distribution Ubuntu.....	45
Figure 13	Architecture du réseau d'installation.....	48
Figure 14	Étapes de validation de la documentation.....	50

Introduction

Contexte du projet "Connect Africa"

L'objectif du projet "Connect Africa"¹ est de participer à la réduction de la fracture numérique dans les pays en voie de développement (PVD). Le but étant de réfléchir aux méthodologies permettant de partager des connaissances et le transfert de technologies. L'initiative de ce projet résulte d'un protocole d'accord signé entre la Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement (CNUCED) et le canton de Genève en juin 2004.

Le canton de Genève s'est engagé concrètement par l'intervention d'un collaborateur de l'Observatoire Technologique² (OT), le Dr Dominique Hausser. L'idée étant de mettre en application une approche méthodologique dans 3 pays du continent africain. Le projet a pris le nom de "Connect Africa".

Les phases du projet

Le projet "Connect Africa" est un concept général qui se traduit sur le terrain par trois phases distinctes. Chacune de ces phases correspond à un concept et à un pays différent.

a) La première phase du projet portait le nom de "PC Project in Lesotho"³. Elle s'est déroulée en 2005 au Royaume du Lesotho. Elle expérience devait permettre la mise en production de systèmes d'information dans différents secteurs tels que des écoles, des administrations ou encore des centres de santé. Cette première expérience fut une réussite pour tous les acteurs.

b) La deuxième phase du projet s'appelle "Cyber Edu"⁴. Elle a commencé au début de l'année 2006 et elle a été planifiée pour durer 12 mois. Le projet est cette fois ciblé dans le domaine de l'éducation. Il doit permettre le transfert de technologies dans 13 écoles. Le pays choisi pour la mise en application du projet est le Mali.

c) La troisième phase est planifiée pour l'année 2007. Pour l'instant aucune décision définitive n'a été prise quant à la forme que va prendre le projet ni le choix du pays.

¹ Site de référence du projet : http://ot.geneve.ch/ot/rubrique.php3?id_rubrique=26

² L'Observatoire Technologique est un organe d'état-major rattaché au Centre des Technologies de l'Information (CTI) de l'Etat de Genève.
<http://www.geneve.ch/obstech/Organisation/who.html>

³ Site de référence du projet : <http://hausser.ch/spikini/?wiki=LesothoProject>

⁴ Site de référence du projet : <http://hausser.ch/spikini/?wiki=ProjetMali>

Le projet "Cyber Edu"

Objectif

L'objectif du projet "Cyber Edu" est le transfert de technologies et de compétences au Mali. Pour atteindre cet objectif, le canton de Genève a fait une importante donation de matériel informatique (*voir annexe 1 – Liste du matériel*) au gouvernement du Mali. Ce matériel informatique est destiné à équiper des écoles et leur fournir une connexion à Internet. Une équipe de formateurs s'est rendue sur place dans le but d'encadrer les techniciens locaux et de former les premiers utilisateurs des salles informatiques.

Forme du projet

Le projet "Cyber Edu" consiste à installer des salles de classes informatisées dans 10 groupes scolaires et 3 instituts de formation des maîtres dans les régions de Sikasso et de Mopti, ainsi que dans le district de Bamako⁵. Ces salles de classe informatisées sont désignées sous le terme de "cyber espaces".

Deux ateliers de formation, l'un en informatique et l'autre en pédagogie numérique, ont également été organisés :

a) Atelier de formation en informatique

Le but de l'atelier en informatique était de former des administrateurs réseau. 42 personnes ont bénéficié de cette formation. Les participants ont appris à installer des serveurs, des postes client et à maintenir un réseau local.

b) Atelier de formation en pédagogie numérique

Le but de l'atelier en pédagogie numérique était de permettre aux utilisateurs d'améliorer la qualité de leur enseignement en se servant des outils informatiques. 36 personnes ont bénéficié de cette formation. Les participants ont appris à utiliser un ordinateur, à rechercher de l'information et à l'intégrer dans la préparation de leurs cours, tous les participants étant des maîtres d'école (*voir chapitre 8.1.1 - Les participants*).

Choix du Mali

Le document de Politique Nationale et Plan Stratégique National des TIC⁶, adopté par le gouvernement du Mali en juillet 2005, proclame la volonté des autorités à résorber la

⁵ Carte du Mali : http://fr.wikipedia.org/wiki/Image:Mali_carte.png

⁶ Document de référence : Politique Nationale et Plan Stratégique National des Technologies de l'Information et de la Communication, 2005.

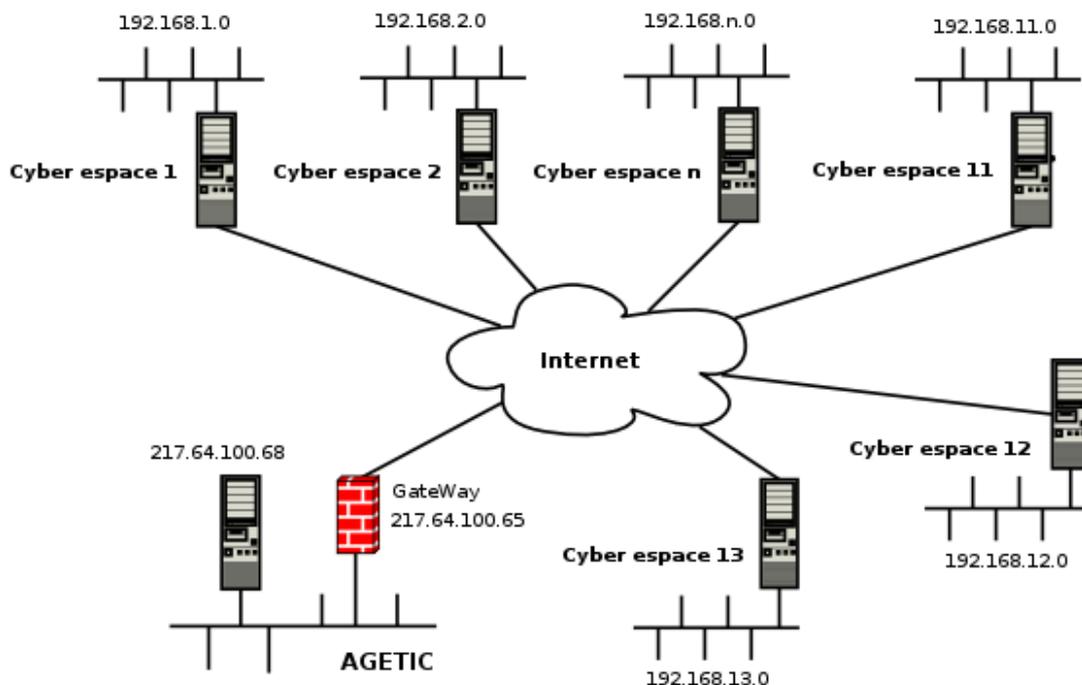
fracture numérique, en particulier entre les villes et les campagnes. De plus, l'éducation est en tête des priorités nationales. Le Mali disposait donc d'un contexte parfaitement adapté pour accueillir le projet "Cyber Edu".

Cyber espace

Dans le cadre du projet "Cyber Edu", un cyber espace est défini comme une salle d'école dédiée à l'informatique. Un administrateur est désigné pour chacune de ces salles. Un cyber espace est équipé d'un serveur qui fournit une connexion à Internet aux 15 à 30 postes clients du réseau local. Il dispose d'une imprimante réseau, d'un vidéo projecteur, d'un scanner, ainsi que d'un appareil photo numérique (*voir annexe 1 – Liste du matériel*).

Un cyber espace a également accès à un réseau privé, construit autour d'un serveur central situé dans le bâtiment de l'Agence des Technologies de l'Information et de la Communication (AGETIC) du Mali⁷. Ce réseau privé est composé des différentes écoles à travers le pays (*voir Figure 1 et chapitre 6.2.3.3 – Installer un VPN*).

Figure 1
Réseau privé des cyber espaces



⁷ L'AGETIC est l'agence qui veille à mettre en oeuvre la stratégie nationale dans le domaine des TIC.

Déroulement du projet

Le projet "Cyber Edu" s'est déroulé en 4 phases :

a) Préparation

La phase initiale était dédiée à la mise en place du projet. Cette phase a permis l'envoi du matériel informatique au Mali, la préparation du contenu des cours dispensés dans le cadre des deux ateliers de formation et les configurations du matériel. Durant cette phase, les maliens avaient comme tâches la préparation des salles devant accueillir les cyber espaces, l'aménagement de la salle de cours à l'AGETIC et faire le choix des participants aux ateliers de formation.

b) Formation

Cette phase s'est déroulée en deux temps, une formation en informatique suivie d'une formation en pédagogie numérique. Chacune de ces deux formations a duré deux semaines et nous a permis d'échanger et de partager le maximum de connaissances avec les participants.

c) Installation

Cette phase devait permettre l'installation des cyber espaces dans les différentes écoles. Les deux premiers cyber espaces sont déjà fonctionnels depuis le 4 octobre 2006. Le projet a officiellement été inauguré le 19 octobre 2006⁸ et les 11 cyber espaces restant devraient être opérationnels d'ici la fin de l'année 2006.

d) Suivi

Cette phase consiste à assister, par mail, les techniciens de l'AGETIC pour tous les aspects techniques. Elle fonctionne actuellement à plein régime dans la mesure où les techniciens préparent les équipements pour les 11 nouveaux cyber espaces. Une visite de terrain est prévue fin novembre 2006 pour constater le travail effectué dans l'intervalle et pour répondre aux questions des responsables et des utilisateurs des cyber espaces⁹.

Intervenants du projet

Docteur Dominique Hausser, Observatoire technologique, chef du projet "Connect Africa". Responsable de la gestion du projet "Cyber Edu".

⁸ http://www.mali-ntic.com/article.php3?id_article=238

⁹ Une visite du Dr Dominique Hausser est planifiée du 24.11.2006 au 10.12.2006 pour visiter tous les cyber espaces dans le but d'évaluer et de suivre les activités du projet.

Monsieur Khaled Bouzerda, diplômé en informatique à l'Université de Genève. Responsable de la création du module de communication de la plate-forme moodle.

Monsieur Samuel Carrupt, étudiant en informatique de gestion à la Haute Ecole de Gestion de Genève. Responsable des choix techniques et pratiques pour l'installation des réseaux locaux, de l'élaboration des Howto et de l'encadrement des apprenants au Mali, ainsi que de l'appui pour la préparation du matériel à installer dans les cyber espaces.

Monsieur Stéphane Lattion, assistant à l'Université de Genève dans l'unité TECFA¹⁰. Responsable de l'encadrement des apprenants au Mali.

Professeur Arturo Montejo Ráez, Université de Jaen - Espagne. Responsable de l'atelier de formation en informatique au Mali.

Monsieur Paul Oberson, Directeur adjoint responsable du secteur Formation au SEM¹¹ de Genève. Responsable de l'atelier de formation en pédagogie numérique au Mali.

Professeur Cheick Oumar Sagara, Université de Bamako - Mali. Responsable de l'encadrement des apprenants au Mali.

Organisation du mémoire

Le mémoire est structuré de la manière suivante :

- La justification du projet.
- La justification des logiciels libres.
- Mon expérience personnelle avec le projet et les logiciels libres.
- La planification du projet et mes tâches.
- La description des différents environnements de travail.
- La description de l'approche méthodologique appliquée.
- La description de la mise en application de la méthodologie et les résultats obtenus.
- Le bilan des cours.
- L'évolution du projet et les alternatives pour un futur développement.
- La conclusion présentée sous forme de bilan.

¹⁰ L'unité Technologies de Formation et Apprentissage (TECFA) est active dans le domaine des technologies éducatives, elle fait partie de la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education - Université de Genève. <http://tecfa.unige.ch/>

¹¹ Le service Ecoles-Médias (SEM) du Département de l'instruction publique du canton de Genève est chargé de mettre à disposition des écoles les ressources et l'expertise nécessaires à l'usage et l'intégration pédagogique des médias, de l'image et de technologies de l'information et de la communication. <http://www.geneve.ch/sem/>

1. Justification du projet

1.1 Société de l'information

Les innovations technologiques de ces dernières années, en particulier dans les domaines de l'informatique et de la communication, ont complètement remodelé la société dans laquelle nous vivons. Cette mutation de la société est désignée sous le terme de "société de l'information".

1.2 Fracture numérique

La fracture numérique est un terme générique désignant l'inégalité d'accès aux technologies numériques. Le terme "fracture numérique" serait issu de l'anglais où on le désigne par l'expression "digital divide". Certaines personnes y font référence dans la littérature sous le terme de "fracture digitale" ou de "fossé numérique". La fracture numérique est particulièrement marquée entre les pays industrialisés et les PVD.

1.3 Fracture numérique rurale

La même inégalité d'accès aux technologies de l'information peut être constatée, au sein d'un PVD, entre les zones rurales et les zones urbaines. C'est ce que l'on appelle la fracture numérique rurale. Cette inégalité face aux nouvelles technologies prive le monde rural d'informations essentielles au développement. De nombreux maliens quittent les campagnes pour venir s'établir dans la capitale avec l'espoir d'y trouver de meilleures conditions¹². Malheureusement cet exode pose de nouveaux problèmes, comme le surpeuplement, le chômage ou la difficulté de se nourrir. Les nouvelles technologies représentent un moyen de freiner l'exode rural en permettant l'accès à des informations susceptibles d'améliorer les conditions de vie. Une lettre du Président de la République du Sénégal, datant du 31 octobre 2006, illustre parfaitement une situation où l'accès à l'information a permis d'améliorer la productivité agricole¹³ :

« ... Il y a deux ans, une femme rurale, petite productrice agricole alphabétisée vivant à Podor, à 400 km de Dakar, avait su améliorer sa production de maïs en qualité et en quantité, parce que grâce au Web, elle s'était familiarisée avec de nouvelles méthodes de production en découvrant de nouvelles variétés. ... »

¹² <http://www.globenet.org/va/va2dos1.html>

¹³ http://www.africatime.com/Mali/nouv_pana.asp?no_nouvelle=288478&no_categorie=3

1.4 Investissement dans les nouvelles technologies

La fracture numérique ne représente qu'une partie des inégalités de développement. Dès lors, pourquoi faut-il tout de même investir dans les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) ? Dans la société de l'information dans laquelle nous vivons, les TIC sont un important moteur de croissance. Cet accès aux TIC est essentiel pour le développement d'un pays, de ses entreprises et pour accéder aux marchés. Ne pas développer ce secteur aurait pour effet d'accentuer la fracture numérique et de marginaliser encore plus les PVD. Il faut donner la même chance à tous les pays de participer à l'économie mondiale. Un rapport des Nations Unies, datant d'octobre 2006, montre que les Pays les Moins Avancés (PMA) ont bien compris les enjeux et mettent tout en oeuvre pour combler leur retard¹⁴.

1.5 Cyber Edu

Dans ce contexte, le projet "Cyber Edu" est particulièrement intéressant. Tout d'abord, il participe de manière globale à la réduction de la fracture numérique au Mali. De plus, il contribue à la réduction de la fracture numérique rurale en équipant des écoles à travers tout le pays. Cet accès aux technologies de l'information permettra sans doute d'améliorer la qualité de l'enseignement dans ces établissements. Une étude menée en Angleterre, datant de juillet 2006, a démontré que l'utilisation des TIC dans l'enseignement primaire a un impact positif sur les performances scolaires des élèves¹⁵. Naturellement, cet engagement ne peut pas suffire à combler toutes les demandes. Le projet "Cyber Edu" ne représente qu'un premier pas vers la généralisation des TIC au Mali.

¹⁴ <http://www.un.org/News/fr-press/docs/2006/dev2588.doc.htm>

¹⁵ <http://ftp.iza.org/dp2234.pdf>

2. Choix des logiciels

2.1 Logiciels libres

Le succès de projets tels que le navigateur Web Firefox, le serveur HTTP Apache ou le gestionnaire de base de données MySql montre que le développement de logiciels libres peut aboutir à des produits réellement concurrentiels. Il devient de plus en plus rare de trouver des logiciels propriétaires qui n'ont pas d'équivalent dans le monde des logiciels libres. La démocratisation des systèmes d'exploitation libres prouve qu'ils n'ont plus rien à envier aux systèmes d'exploitation propriétaires. La distribution¹⁶ Ubuntu, qui a récemment convertit de nombreux utilisateurs¹⁷, est un parfait exemple de cette démocratisation. Seuls les problèmes d'interopérabilité¹⁸ entre les solutions représentent encore une barrière à l'utilisation des logiciels libres.

Dès lors, pourquoi les PVD qui ont déjà des difficultés pour accéder aux technologies de l'information devrait encore payer des sommes astronomiques pour s'équiper avec des logiciels propriétaires. On trouve sur le marché des produits gratuits, de qualité au moins équivalente, sécurisés et respectant les formats standards.

2.2 Ubuntu

Le choix de la distribution s'est porté sur Ubuntu lors du projet au Royaume du Lesotho en 2005. Cette distribution a été choisie pour sa simplicité d'utilisation, pour son architecture, pour son caractère collaboratif et pour des raisons "politiques", puisque l'initiateur de cette distribution est un sud-africain du nom de Marc Shuttleworth¹⁹. Le choix d'une distribution africaine semblait importante dans le cadre d'une utilisation dans les PVD. Le nom Ubuntu est issu du bantou²⁰. Il signifie au choix "Humanité aux autres" ou encore "Je suis ce que je suis grâce à ce que nous sommes tous". Il résume parfaitement l'état d'esprit de la distribution. Le succès que connaît actuellement cette distribution à travers le monde prouve que le choix initial était parfaitement judicieux. Il n'a jamais été remis en question dans le cadre du projet "Cyber Edu".

¹⁶ Une distribution se compose d'un noyau Linux et d'applications. Elles se distinguent les unes des autres par le type de logiciels qu'elles proposent, leur prix et les outils mis à disposition pour gérer et installer le système, etc. <http://doc.ubuntu-fr.org/doc/glossaire>

¹⁷ Indice de popularité des distributions libres :
<http://distrowatch.com/stats.php?section=popularity>

¹⁸ L'interopérabilité est le fait que plusieurs systèmes, qu'ils soient identiques ou radicalement différents, puissent communiquer sans ambiguïté et opérer ensemble.

¹⁹ http://fr.wikipedia.org/wiki/Mark_Shuttleworth

²⁰ Le bantou est une famille de langues africaines parlées par plus de 310 millions de personnes. http://en.wikipedia.org/wiki/Bantu_languages

3. Expérience personnelle

3.1 Intégration dans le projet

Dans le cadre de mes études d'informaticien de gestion, j'ai eu l'occasion d'effectuer un stage dans le projet PC au Lesotho en 2005, en intégrant l'équipe des trois étudiants de la Haute Ecole de Gestion de Genève (HEG) choisis pour ce projet. Ma principale tâche a consisté à trouver les applications informatiques les mieux adaptées aux différents environnements auxquels étaient destinés les ordinateurs. Une école n'a pas les mêmes besoins logiciels qu'une administration ou qu'un centre de santé. Mon seul regret est de ne pas avoir pu me rendre au Lesotho pour mettre en application ce qui avait été développé à Genève.

Après cette première collaboration, j'ai eu la chance d'être contacté par le Dr Dominique Hausser me proposant d'intégrer le projet "Cyber Edu". Cette nouvelle collaboration s'est concrétisée sous forme d'un stage de 3 mois à l'OT, comprenant une période de 5 semaines au Mali.

3.2 Expérience avec les logiciels libres

Depuis longtemps, je me suis intéressé aux logiciels libres et c'est avec beaucoup de plaisir que je me suis plongé dans cet univers. Cet intérêt m'a permis de découvrir Linux et j'ai eu l'occasion de tester plusieurs distributions. Bien que j'utilisais en parallèle des systèmes Windows et Linux, j'ai toujours privilégié l'utilisation des logiciels libres, quelle que soit la plate-forme.

Mon engagement au sein du projet PC au Lesotho m'a permis de découvrir Ubuntu et de me familiariser avec cet environnement. Convaincu par cette nouvelle distribution, je l'ai dès lors adoptée pour mon utilisation personnelle.

4. Planification et tâches

4.1 Planification

La planification du projet a été réalisée par le Dr Dominique Hausser qui, en tant que chef de projet, avait pour mission de gérer les interactions des différents intervenants. Les jalons ainsi posés ont constitué le fil conducteur de l'avancement du projet et en particulier de mon stage.

4.2 Déroulement

28 janvier 2006 - 11 février 2006

Repérage des infrastructures maliennes et prise de contact avec les autorités par le Dr Dominique Hausser.

11 juillet 2006 - 25 août 2006 - Stage à l'OT - partie laboratoire

Le début de mon stage s'est déroulé dans le laboratoire de l'OT (*voir chapitre 5.1 – Laboratoire de l'OT*). Le départ du Dr Dominique Hausser pour le Mali étant fixé au 25 juillet, il était nécessaire de récolter le maximum d'informations avant cette date. Cela m'a ensuite permis de travailler de manière indépendante.

Ma liste des tâches durant cette période :

- Faire les choix techniques et pratiques pour l'installation des réseaux locaux.
- Valider les choix techniques au laboratoire de l'OT.
- Documenter tous les protocoles d'installation sous forme de Howto.
- Valider le module de communication de la plate-forme moodle (*voir chapitre 7.2.2 – Valider la mise en place de la plate-forme moodle*).

26 août 2006

Mon arrivée à Bamako.

28 août 2006 - 1 septembre 2006

Cette première semaine de terrain avait pour objectif la préparation de la salle de cours en collaboration avec le Dr Dominique Hausser et les techniciens de l'AGETIC.

Ma liste des tâches durant cette période :

- Valider les choix techniques proposés dans la phase de laboratoire et les adapter au terrain.
- Seconder le Dr Dominique Hausser dans la préparation de la salle de cours.

- Former les techniciens de l'AGETIC afin de les familiariser avec la distribution Ubuntu.

2 septembre 2006

Arrivée à Bamako de M. Stéphane Lattion, assistant durant les deux formations.

3 septembre 2006

Arrivée à Bamako du professeur Arturo Montejo Ráez, responsable de la première formation.

4 septembre 2006 - 15 septembre 2006

Début de la période de formation en informatique.

Ma liste des tâches durant cette période :

- Faire en sorte que les réseaux de la salle de cours soient fonctionnels et qu'ils le restent durant toute la formation.
- Assister les utilisateurs durant la formation.
- Corriger la documentation en fonction de la compréhension des utilisateurs.
- Mettre en place les règles de sécurité du firewall.

16 septembre 2006

Départ de Bamako du Professeur Arturo Montejo Ráez.

17 septembre 2006

Arrivée à Bamako de M. Paul Oberson, responsable de la deuxième formation.

18 septembre 2006 - 29 septembre 2006

Début de la période de formation en pédagogie numérique.

Ma liste des tâches durant cette période :

- Assister les utilisateurs durant la formation.
- Mettre au point les procédures pour l'industrialisation des installations des machines.
- Installer les 50 machines destinées aux 2 premières écoles.

1 octobre 2006

Départ de Bamako de Ms Stéphane Lattion et Samuel Carrupt.

6 octobre 2006

Départ de Bamako du Dr Dominique Hausser et de M. Paul Oberson.

4.3 Date limite

Le début de la première formation étant fixée au 4 septembre 2006, il était impératif de réaliser les tâches confiées par le chef de projet avant cette date. Cette limite de temps ainsi que l'obligation de résultats ont mis beaucoup de pression sur les acteurs du projet. Globalement, le planning du projet a été très bien respecté. La plus grande partie des configurations étaient prêtes à temps, les autres tâches ont été accomplies en dehors des heures de cours.

5. Environnement de travail

Ce chapitre décrit les différents environnements de travail.

5.1 Laboratoire de l'OT

Le laboratoire de l'OT (*voir annexe 2 – Schéma du laboratoire de l'OT*) simulait la configuration que nous allons trouver au Mali :

- 1 serveur central représentant le serveur de l'AGETIC.
- 2 serveurs représentant les écoles, avec 2 postes clients chacun simulant le réseau local.



Illustration 1: Laboratoire de l'OT

5.2 Salle de cours à l'AGETIC

La salle de cours, située à l'AGETIC, reproduisait 10 cyber espaces. Chaque école était représentée par 4 ou 5 postes clients. Tous les postes clients ont été identifiés avec le numéro de l'école suivi de leur propre numéro. Exemple : le premier poste client de l'école 5 aurait l'identifiant *e5p1*.

Le matériel de cours, y compris 42 ordinateurs ont été mis en place par les techniciens de l'AGETIC. Les ordinateurs utilisés pendant les cours étaient ceux destinés ultérieurement aux écoles. La connexion Internet dépendait des installations de l'AGETIC. Le débit de la connexion Internet était très variable, passant d'une très

bonne connexion à quasiment plus rien du tout. Les derniers préparatifs ont été terminés durant la semaine précédant la première formation.

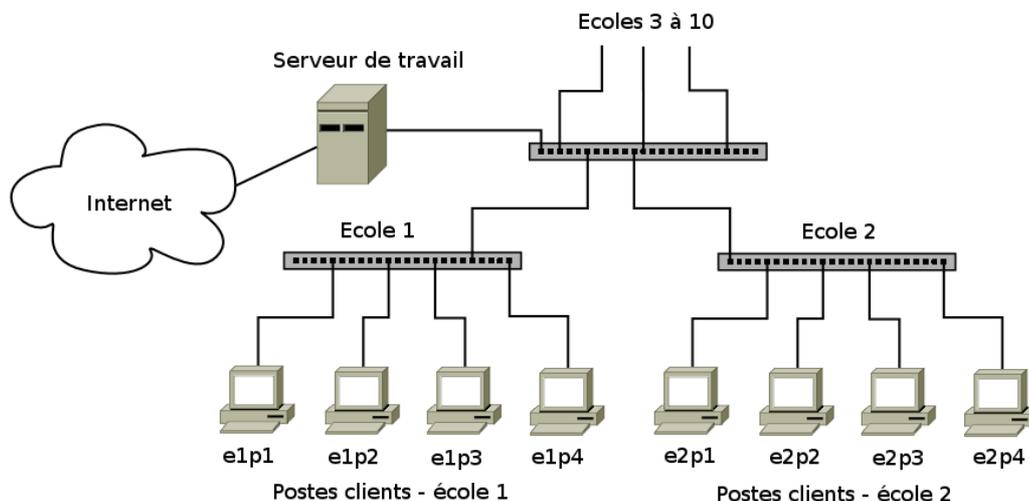


Illustration 2: Salle de cours de l'AGETIC

5.2.1 Architecture

Un serveur de travail a été installé durant la semaine précédant le début de la première formation. Initialement, tous les postes clients étaient reliés à ce serveur (voir Figure 2). Cette architecture a posé des problèmes lorsque toutes les machines ont tenté de faire des mises à jour en même temps. Le réseau a été complètement saturé. Par la suite, les participants ont installés leur propre serveur.

Figure 2
Architecture réseau de la salle de cours



5.2.2 Réseau électrique

Le réseau électrique malien étant instable, le bâtiment de l'AGETIC dispose d'un groupe électrogène qui se met en route après 3 minutes de coupure de courant. Pour combler ce délai, nous avons installé des onduleurs²¹ dans la salle de cours. Un test a permis de déterminer que 3 onduleurs étaient nécessaires pour supporter, avec une marge de sécurité, la charge des 42 postes clients et des serveurs²².

5.3 Salles des cyber espaces dans les écoles

Les salles des écoles ont été sélectionnées par les maliens sur la base de critères géographiques. D'importants travaux ont été nécessaires dans chacune des écoles, allant de l'installation électrique jusqu'à la rénovation des planchers et des toits. Le gouvernement malien s'est engagé sur le plan financier à faire ces travaux préparatoires. Les conditions posées par l'AGETIC pour recevoir les ordinateurs étaient claires :

- Salle informatique climatisée.
- Salle vitrée aux fenêtres et aux portes.
- Salle sécurisée contre les déprédations et les vols.
- Salle protégée électriquement par une mise à terre et un paratonnerre.
- Désignation d'un responsable pour chaque salle.

Le Dr Dominique Hausser a eu l'occasion de visiter la plupart des écoles sélectionnées lors d'un premier voyage au Mali. Avec des représentants du Ministère de la Communication et des Nouvelles technologies (MCNT) et de l'AGETIC, un état des lieux a été fait. Une seconde visite comprenant des représentants du MCNT et du Ministère de l'éducation nationale (MEN) a permis de donner les indications sur les modifications à apporter aux salles (*voir annexe 3 – Travaux à effectuer par le MEN*).

5.4 Ancrage à l'AGETIC

Le projet "Cyber Edu" a la chance de bénéficier d'un ancrage dans le pays grâce à l'AGETIC. Tout d'abord, leurs infrastructures ont servis de cadre aux deux formations. Ensuite, ils ont reçu la mission de la part de l'Etat malien de s'occuper de la maintenance des cyber espaces. Sans cet engagement, le projet n'aurait aucune chance de succès à long terme. Il est absolument nécessaire d'impliquer des gens sur place pour pérenniser le projet.

²¹ Par abus de langage, on appelle souvent "onduleur" une alimentation sans interruption (ASI), notamment les alimentations de sécurité pour ordinateur de bureau. <http://www.commentcamarche.net/protect/onduleur.php3>

²² Chaque onduleur supporte une charge maximum de 3000 VA. Dans notre cas, chaque onduleur était sollicité à hauteur d'environ deux tiers, soit entre 1800 VA et 2400 VA.

Toutefois, l'AGETIC est une structure relativement récente où les choses se mettent tranquillement en place. Cette structure est en perpétuelle recherche de financements. Cela conduit parfois à cautionner des projets voués à l'échec, car issus d'une politique d'opportunité.

5.5 Université de Bamako

Nous avons eu la chance d'être assistés dans notre tâche au Mali par M. Cheick Oumar Sagara, professeur d'informatique à l'Université de Bamako, qui est très impliqué dans le développement des logiciels libres. Son aide a été précieuse durant les deux formations. Par ailleurs, il a proposé de mettre en place un serveur de dépôt²³ à l'Université de Bamako. Cela permettrait d'impliquer des personnes qualifiées dans ce projet et obtenir ainsi un appui de taille pour le gouvernement malien. Cette proposition doit être encore confirmée.

²³ Un dépôt est un endroit où les données sont stockées, maintenues et rendues accessibles au travers d'un réseau. C'est depuis ces dépôts que l'on peut télécharger et installer la distribution Ubuntu. <http://doc.ubuntu-fr.org/applications/apt/depots>

6. Méthodologie

6.1 Approche

La mise en place d'une méthodologie permet de créer un mode d'emploi sur la manière d'appréhender un problème et d'y répondre avec une solution cohérente.

La méthodologie choisie pour le projet "Cyber Edu" devait tenir compte des acteurs, des environnements de travail et du contexte malien, afin de mettre en place la meilleure approche possible.

6.2 Démarche

La démarche est organisée en 5 étapes :

1. Fixer les objectifs et mettre en évidence les problèmes
2. Proposer des solutions
3. Mettre en oeuvre les solutions
4. Affiner les solutions sur la base de l'étape 3
5. Faire un bilan de la mise en oeuvre des solutions

Chaque étape est décrite ci-dessous en détails.

6.2.1 Fixer les objectifs et mettre en évidence les problèmes

Cette étape a consisté à la rédaction d'un cahier des charges destiné à chaque intervenant du projet (voir annexe 4 – Liste des tâches SCA). Ce cahier des charges a été rédigé par le chef de projet afin de fixer les limites du projet. Les objectifs sont exprimés sous forme d'une liste de tâches accompagnée d'une liste de problèmes à résoudre. Cette liste a évolué au fil des jours et en fonction des problèmes rencontrés lors de la mise en oeuvre des solutions en laboratoire. Ce document de référence a permis de mettre en évidence toute une série de problèmes à résoudre qui ont servis de point de départ du projet.

6.2.2 Proposer des solutions

Cette étape a consisté à proposer des solutions concrètes pour répondre aux problèmes mis en évidence. Une analyse poussée, des recherches approfondies et de nombreuses discussions ont été nécessaires pour sélectionner les meilleures options.

Le travail effectué au laboratoire de l'OT a permis de valider tous les choix techniques. Une fois la procédure validée, le protocole d'installation a été scrupuleusement documenté sous forme de Howto. Cette documentation est très importante, car elle a servi de référence pour toute la suite du projet.

Malheureusement, un environnement de test ne reproduit jamais complètement la réalité du terrain. La prochaine étape décrit la mise en oeuvre des solutions sur le terrain.

6.2.3 Mettre en oeuvre les solutions

Cette étape a consisté à mettre en oeuvre sur le terrain les solutions proposées dans l'environnement de test. Cette étape a été réalisée en 3 phases :

a) Phase précédant la formation en informatique

La première phase a eu lieu durant la semaine précédant le début de la formation en informatique. Elle a consisté à mettre en place, dans la salle de cours de l'AGETIC, les solutions préconisées. Cette phase a permis d'adapter les documents au contexte malien et de valider certains choix techniques qui n'ont pas pu être complètement testés à l'OT. Cette phase a permis également d'intégrer les techniciens de l'AGETIC dans le processus de test et de validation des solutions.

b) Phase de la formation en informatique

La deuxième phase a eu lieu durant la formation en informatique. Tous les participants étaient des débutants en informatique, du moins vis à vis des systèmes Linux. Cette étape était très intéressante, car elle a permis de valider la forme de la documentation. La réaction des participants face aux protocoles d'installation est révélateur de leur compréhension. Cette phase a donc permis d'adapter les documents afin de les rendre le plus accessible possible à des débutants.

c) Phase d'application aux écoles

La troisième phase est celle qui consiste à mettre en oeuvre les choix techniques dans les écoles maliennes. Un certain nombre d'adaptations seront certainement nécessaires en fonction des installations dont dispose chaque établissement. Les techniciens maliens sont autonomes durant cette phase d'installation. Une aide est assurée à distance par l'équipe d'encadrement.

6.2.4 Affiner les solutions sur la base de l'étape 3

Cette étape consiste à suivre et actualiser les solutions mises en oeuvre au Mali depuis Genève. Le projet "Cyber Edu" se terminant officiellement à la fin de l'année 2006, il est encore possible de proposer des améliorations dans certains domaines. Les solutions mises en place provisoirement nécessitent d'être complétées par un travail supplémentaire. De plus, des solutions doivent être apportées aux problèmes non résolus par manque de temps.

6.2.5 Faire un bilan de la mise en oeuvre des solutions

Cette étape consiste à faire un bilan des choix techniques mis en oeuvre dans les établissements maliens. Cet exercice permet de mettre en évidence quels choix étaient appropriés et lesquels devraient être remplacés. Les conclusions de ce bilan serviront de référence pour un prochain projet.

7. Mise en application de l'approche méthodologique

Ce chapitre décrit la mise en application de l'approche méthodologique, ainsi que les résultats observés sur le terrain.

7.1 Mise en évidence des problèmes

La première étape a consisté à mettre en évidence les problèmes à résoudre :

- Mettre en place un réseau local
- Valider la mise en place de la plate-forme moodle
- Trouver une solution pour faire communiquer les plate-formes moodle
- Mettre en place une stratégie d'adressage
- Mettre en place une stratégie de sauvegarde
- Définir une stratégie d'administration du réseau
- Trouver des solutions pour économiser la bande passante
- Déterminer une stratégie pour l'utilisation des disques durs sur les serveurs
- Réfléchir au problème d'instabilité du réseau électrique
- Mettre en place une infrastructure sécurisée
- Définir une stratégie pour inventorier le matériel informatique
- Organiser l'industrialisation des installations
- Produire de la documentation explicite et orientée débutant
- Proposer des solutions pour le suivi du projet

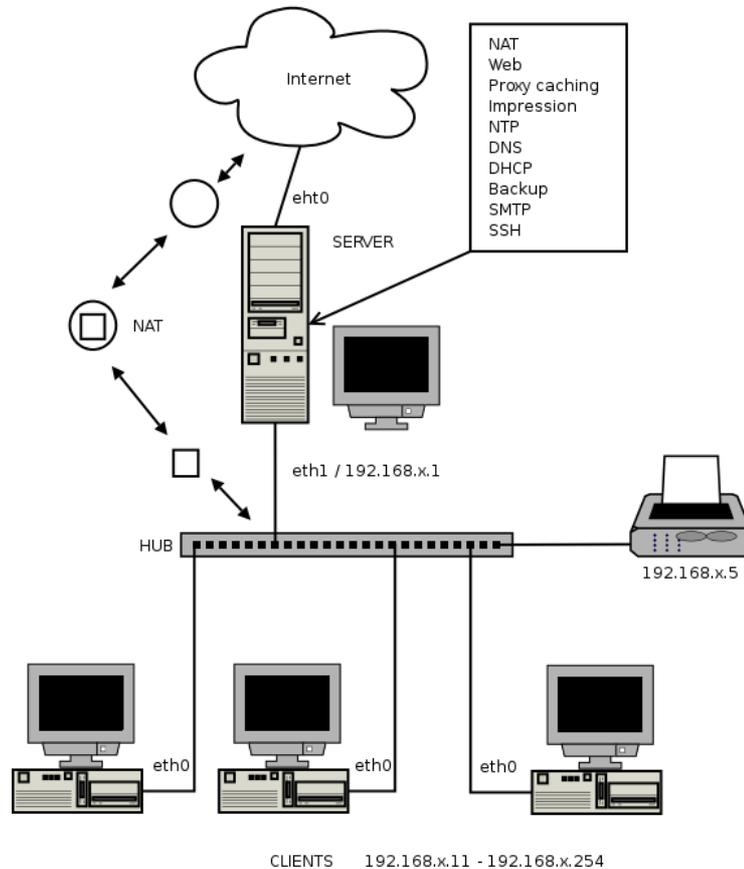
7.2 Analyse des problèmes et solutions

7.2.1 Mettre en place un réseau local

Un des objectifs du projet "Cyber Edu" consistait à mettre en place des réseaux locaux (voir Figure 3). Ces réseaux locaux sont désignés sous le terme cyber espaces. La première tâche a consisté à analyser les services que le serveur local devait fournir. Les documents produits lors du projet PC au Lesotho ont servi de base à cette analyse. L'installation de serveurs avaient déjà été documentée lors de ce premier projet.

Le principe de base est d'installer un serveur (voir annexe 5 - Installation du serveur) qui met à disposition des informations au réseau local, plutôt que 30 postes clients qui doivent tous aller chercher cette information sur Internet. Des services supplémentaires ont été installés sur les serveurs dans le but de limiter le trafic réseau (voir chapitre 7.2.7 - Économiser la bande passante).

Figure 3
Architecture d'un réseau local



7.2.1.1 NAT

Le serveur sert de passerelle pour la connexion à Internet. Tous les postes clients du réseau local passent par cette machine et partagent la même connexion. Le serveur ne possédant qu'une seule adresse publique, il est nécessaire de faire de la translation d'adresse (*Network Address Translation, NAT*)²⁴.

Ce service demande l'activation de la fonctionnalité par le noyau Linux. Pour simplifier cette étape, deux scripts ont été développés (*voir annexe 5 - Installation du serveur*) :

- Le premier script est exécuté lorsque l'interface connectée à Internet est activée. Il démarre l'activation du NAT.
- Le deuxième script est exécuté lorsque l'interface connectée à Internet est désactivée. Il stoppe l'exécution du NAT.

²⁴ La translation d'adresse permet de faire correspondre plusieurs adresses privées à une seule adresse publique. http://fr.wikipedia.org/wiki/Network_address_translation

7.2.1.2 DNS

Pour faire la correspondance entre un nom de domaine et une adresse IP, une machine a besoin d'interroger un serveur DNS²⁵. L'installation d'un serveur DNS local est utile, car elle permet de réduire le trafic sur le réseau Internet. Un poste client qui veut consulter une page Web interrogera en priorité le serveur DNS local. Si une correspondance est trouvée, alors le serveur DNS local retournera l'adresse IP correspondant à la requête. Si aucune correspondance n'est trouvée, le serveur DNS local fera alors une requête vers un serveur DNS de niveau supérieur et la nouvelle entrée sera ajoutée dans son cache.

Le logiciel que nous avons sélectionné s'appelle dnsmasq. Il est suffisamment simple à configurer et tout à fait adapté à notre situation. Il a également l'avantage de faire office de serveur DHCP (*voir chapitre 7.2.1.3 - DHCP*).

7.2.1.3 DHCP

Le service DHCP²⁶ fournit automatiquement des adresses IP privées aux machines de notre réseau local. Il permet une plus grande flexibilité dans la gestion des machines. Il évite de devoir reconfigurer chaque machine en cas de changement des paramètres sur le réseau. Le protocole DHCP permet également de configurer automatiquement la passerelle par défaut, le nom de domaine local et les serveurs DNS.

Le logiciel que nous avons sélectionné s'appelle dnsmasq. Les raisons sont les mêmes que celles évoquées pour le service DNS (*voir chapitre 7.2.1.2 - DNS*).

7.2.1.4 NTP

Ubuntu permet aux postes clients de se mettre à l'heure à travers un réseau grâce au protocole NTP²⁷. Ce service est intéressant, car il est souhaitable que chaque machine du réseau soient synchronisée. Habituellement, les requêtes de synchronisation se font vers des serveurs NTP à travers le réseau Internet. L'application ntpdate permet au serveur local de fournir à son tour ce service. Le serveur local met à jour régulièrement son horloge en se synchronisant avec des serveurs NTP de niveau supérieur à travers le réseau Internet. Puis, il écoute les requêtes des postes clients et leur permet de se synchroniser à leur tour en servant de référence.

²⁵ http://fr.wikipedia.org/wiki/Domain_Name_System

²⁶ http://fr.wikipedia.org/wiki/Dynamic_Host_Configuration_Protocol

²⁷ http://fr.wikipedia.org/wiki/Network_Time_Protocol

7.2.1.5 HTTP

Certains services tels que moodle (*voir chapitre 7.2.2 - Valider la mise en place de la plate-forme moodle*) ou apt-cacher (*voir chapitre 7.2.7.2 - Apt-cacher*) nécessitent un serveur HTTP²⁸ pour fonctionner correctement. Le choix de la plate-forme s'est rapidement porté sur Apache2 qui est le serveur HTTP libre le plus connu. Ce projet a l'avantage d'être très bien documenté du fait de son utilisation massive à travers le monde.

7.2.1.6 Gestion des services

Les systèmes Linux fonctionnent avec un niveau d'exécution²⁹. Le niveau d'exécution est utilisé au démarrage de la machine pour déterminer quels services doivent être démarrés. Chaque niveau d'exécution correspond à une configuration particulière du système. Ces différents niveaux peuvent être configurés en éditant des scripts. Il existe des utilitaires pour simplifier ce processus. Notre choix s'est porté sur l'utilitaire sys-rc-conf qui permet de configurer, avec une interface pseudo-graphique, les services associés à un niveau d'exécution.

7.2.1.7 Proxy

Par souci d'économie de la bande passante, un proxy a été installé. Le proxy n'a pas été intégré dans la politique de sécurité du réseau. C'est uniquement sa fonction de cache qui nous intéressait, et non pas le filtrage des requêtes des utilisateurs.

Le choix de l'application s'est porté sur le module proxy du serveur HTTP Apache2³⁰, car il était plus simple de configurer un nouveau module, plutôt que d'installer une application dédiée.

7.2.1.8 Administration

Généralement, un serveur est installé sans interface graphique, il n'a pas d'écran, pas de clavier et pas de souris. Les raisons sont assez simples, une interface graphique consomme de la puissance et de la mémoire inutilement et un serveur n'est pas une machine destinée à la bureautique. L'administration du serveur est alors seulement possible avec une connexion à distance. Ce service est d'autant plus important que certains cyber espaces sont à plus de 600 km de la capitale où les techniciens de l'AGETIC sont tous basés. Ce service est disponible sur un serveur Ubuntu grâce à OpenSSH³¹.

²⁸ <http://fr.wikipedia.org/wiki/HTTP>

²⁹ <http://fr.wikipedia.org/wiki/Runlevel>

³⁰ http://httpd.apache.org/docs/2.2/mod/mod_proxy.html

³¹ <http://doc.ubuntu-fr.org/applications/ssh>

7.2.1.9 Impression

Chaque cyber espace dispose d'une imprimante réseau partagée entre tous les utilisateurs. Il était nécessaire de mettre en place un serveur d'impression pour gérer la queue des travaux d'impression.

L'application que nous avons sélectionnée s'appelle cups. Cette application permet une gestion fine de la queue d'impression et intègre de nombreux drivers d'imprimantes.

7.2.1.10 SMTP

Le module de communication de moodle (*voir chapitre 7.2.2 - Valider la mise en place de la plate-forme moodle*) a besoin d'expédier des mails pour fonctionner correctement. Il était donc nécessaire d'installer un serveur de messagerie SMTP³² local. Nous n'avons pas mis en place de serveur POP ou IMAP permettant la réception des messages, car cela ne faisait pas partie des priorités du projet. Il est tout à fait envisageable de proposer cette fonctionnalité plus tard, si le besoin est exprimé clairement.

Le choix du logiciel s'est porté sur postfix qui est plus simple à administrer et plus sécurisé que sendmail.

Pour que postfix fonctionne correctement³³, il faut lui indiquer l'adresse du serveur SMTP du Fournisseur d'Accès à Internet. Cette information a été assez difficile à obtenir dans la mesure où la quasi totalité des techniciens de l'AGETIC utilisent des webmail³⁴ et n'avaient jamais configuré leur client de messagerie.

7.2.1.11 LDAP

Le but de l'annuaire LDAP³⁵ était de faciliter la gestion des utilisateurs du système, en particulier les enseignants susceptibles de changer d'école. Avec un annuaire LDAP, leur gestion devient indépendante de leur localisation physique. Par manque de temps, aucun test n'a été entrepris pour intégrer ce système d'annuaire. Étant donné que cette fonctionnalité avait une priorité faible, aucun impact n'a eu lieu sur le projet. Cet annuaire représente une amélioration qui peut être implantée ultérieurement.

³² http://fr.wikipedia.org/wiki/Simple_Mail_Transfer_Protocol

³³ En particulier pour une question de reverse dns qui est de plus en plus utilisé pour valider l'émission des messages.

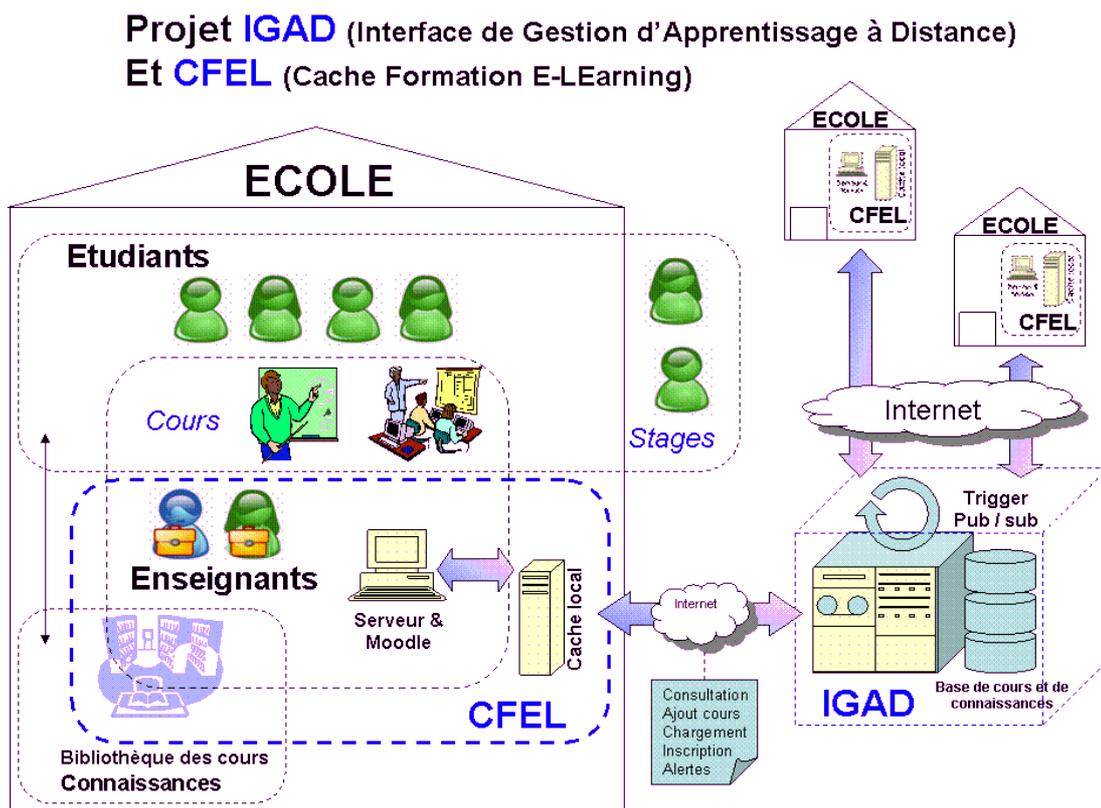
³⁴ Un webmail est une interface Web rendant possible l'émission, la consultation et la manipulation de courriers électroniques directement depuis un navigateur Web.
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Webmail>

³⁵ <http://fr.wikipedia.org/wiki/LDAP>

7.2.2 Valider la mise en place de la plate-forme moodle

Dans le but de mettre en place une plate-forme de support aux professeurs des écoles, le Dr Dominique Hausser, en collaboration avec l'Université de Genève, a décidé d'installer la plate-forme moodle³⁶ dans les cyber espaces. Cette collaboration s'est concrétisée sous la forme du travail de licence de M. Khaled Bouzerda, étudiant en informatique à la faculté des sciences de l'Université de Genève. Moodle est une plate-forme déjà très bien implantée dans le milieu éducatif. Le travail de M. Khaled Bouzerda a consisté à développer un module de communication. Ce module permet de créer une base de données centralisée des ressources électroniques disponibles dans les différentes écoles et de pouvoir consulter ces ressources depuis n'importe quelle école³⁷ (voir Figure 4).

Figure 4
Concept du module de communication de moodle



Source : Johann Sievering

³⁶ Moodle est une plate-forme d'apprentissage en ligne.
<http://moodle.org/>

³⁷ Présentation du module de communication :
http://hausser.ch/IMG/pdf/PresentationIGAD_CFEL_20060424_ver1.0.pdf

Ma tâche a consisté à valider le travail effectué par M. Khaled Bouzerda, afin d'être en mesure de réinstaller tout le système au Mali. J'ai donc utilisé le Howto (*voir annexe 6 – Installation de moodle*) rédigé par M. Khaled Bouzerda pour me familiariser avec la procédure d'installation au laboratoire de l'OT. Ma tâche a également consisté à rendre le Howto cohérent avec les autres documents du projet.

7.2.3 Faire communiquer les plate-formes moodle

Lors de la phase de développement et de tests du module de communication moodle, l'infrastructure reposait sur le réseau de l'Etat de Genève. Dans ce contexte, nous avons utilisé les adresses privées du réseau cantonal pour identifier les serveurs. La mission de M. Khaled Bouzerda était de développer le module de communication, mais sans s'occuper de l'infrastructure réseau. Le problème à résoudre était donc de faire communiquer des serveurs distants, alors qu'une seule machine est associée à une adresse IP statique.

7.2.3.1 DynDNS

La première solution qui a été envisagée s'appelle dyndns. Ce service Web permet d'effectuer une résolution de nom d'hôte avec l'adresse IP actuellement associée au serveur. L'adresse des machines est alors du type `http://mon_serveur.dyndns.org/`. Cette solution semblait assez élégante dans le sens où elle résolvait assez simplement le problème des adresses IP dynamiques en leur associant un nom de machine. Le gros désavantage de cette solution est de rendre le fonctionnement du réseau dépendant d'un tiers. Cette contrainte est acceptable pour une utilisation privée, mais en aucun cas dans le cadre d'un projet tel que "Cyber Edu".

7.2.3.2 Monter un serveur DNS dynamique

La seconde alternative qui a été envisagée consistait à maintenir notre propre serveur DNS dynamique, à la manière de dyndns. Cette solution semblait élégante, mais elle nécessitait un temps de développement que nous n'avions pas à disposition. Cette solution a donc rapidement été abandonnée.

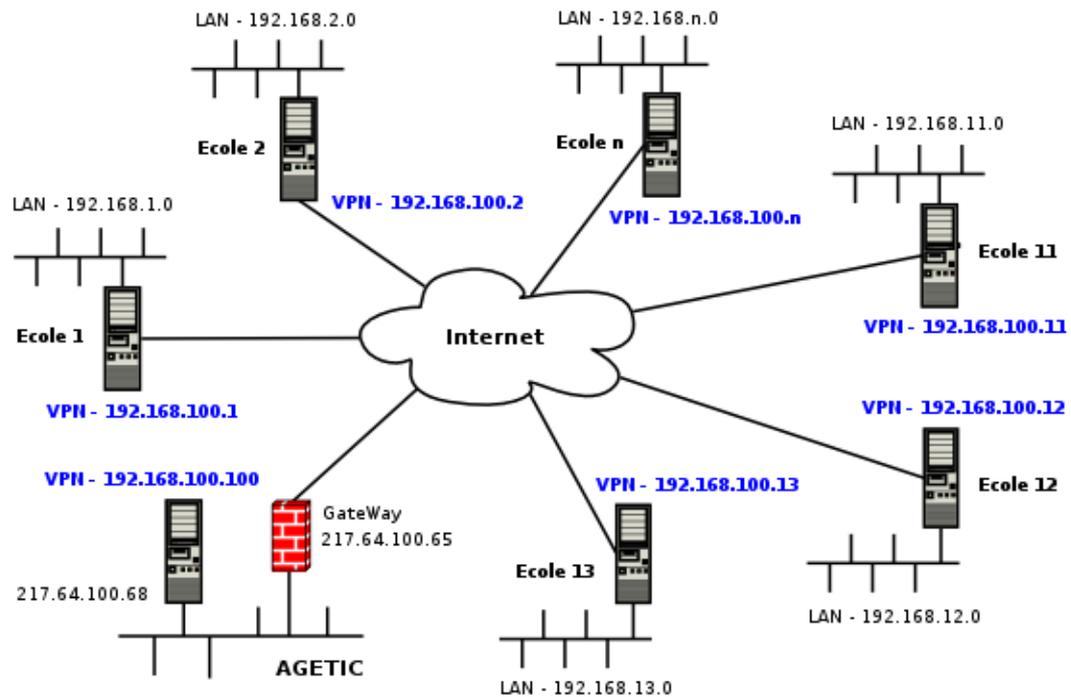
7.2.3.3 Installer un VPN

La troisième alternative consistait à mettre en place un VPN³⁸. C'est cette solution qui a été retenue. Un VPN permet d'obtenir une liaison sécurisée sur une infrastructure comme le réseau Internet. Il ne permet pas de garantir une qualité de service, mais cet

³⁸ Le VPN (Réseau Privé Virtuel en français) est une extension des réseaux locaux qui procure une norme de sécurité en télécommunications.
http://fr.wikipedia.org/wiki/Réseau_privé_virtuel

inconvenient est tout à fait acceptable dans le cadre du projet "Cyber Edu". Un VPN permet également de connecter plusieurs réseaux locaux à travers Internet. C'est cette propriété qui nous a servi à faire communiquer les différents serveurs entre-eux (voir Figure 5).

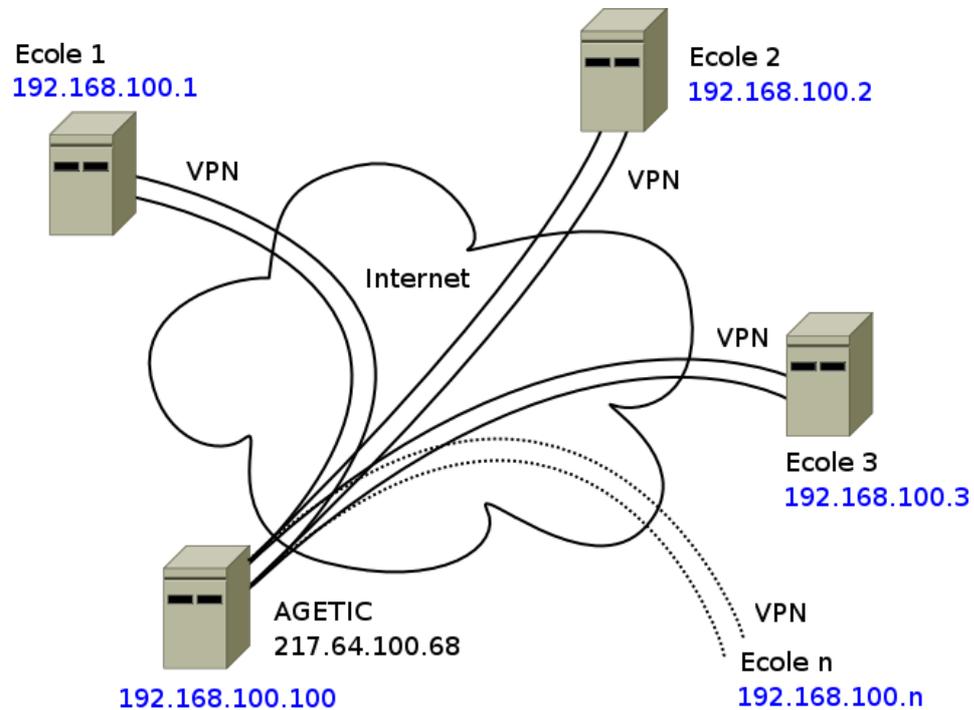
Figure 5
Réseau VPN



Architecture du réseau VPN

Dans notre réseau privé, le serveur central, situé dans les locaux de l'AGETIC, est la seule machine qui dispose d'une adresse IP statique. Un accès au VPN commence toujours par une demande de connexion depuis les serveurs des écoles vers le serveur central. Si la machine est correctement identifiée, elle obtient une adresse IP privée au VPN et un tunnel est monté entre les deux serveurs. Une fois les tunnels montés, il est possible de faire communiquer deux serveurs distants en utilisant les adresses IP du réseau privé. La topologie est étoilée, toutes les communications entre serveurs distants passent par le serveur central (voir Figure 6). Le serveur central est configuré pour router correctement les communications.

Figure 6
Architecture du réseau VPN



Choix du logiciel VPN

M. Nils Buss, collaborateur à l'OT, m'a mis en relation avec M. David Crisinel, collaborateur du Centre des Technologies de l'Information (CTI)³⁹, spécialisé dans le domaine des réseaux. Suite à cette collaboration, le choix du logiciel s'est porté sur VTun, car c'était l'application que connaissait le mieux M. Crisinel.

VTun est relativement simple à configurer et disponible dans les dépôts Ubuntu. Cependant, VTun présente l'inconvénient de ne plus être développé et de manquer de documentation. Ce manque d'information a été comblé grâce au livre "Construire un VPN sous IP avec Linux" qui inclut un chapitre complet sur la configuration de VTun.

Dans la mesure où la sécurité n'était pas un critère de choix, l'utilisation de VTun est parfaitement adaptée au projet "Cyber Edu". Pour un développement futur, il serait utile d'envisager une autre solution. Par exemple, le projet OpenVPN qui est bien mieux documenté et dont le développement est toujours actif.

³⁹ Le Centre des Technologies de l'Information (CTI) est le département informatique du canton de Genève. <http://www.geneve.ch/cti/welcome.html>

Réalisation

J'ai commencé par configurer VTun au laboratoire de l'OT avec les informations que j'avais récoltées. Par la suite, j'ai eu la chance d'accueillir M. Crisinel au laboratoire de l'OT. Cette collaboration a permis de valider les configurations et de mettre en place les directives de routage du serveur central. Une fois le VPN correctement installé, des tests ont démontré que cette solution répondait parfaitement au problème soulevé par le module de communication de moodle.

L'étape suivante a consisté à rédiger la documentation du protocole d'installation du VPN (*voir annexe 7 – Installation du VPN*). Puis, ces documents ont été validés par M. Crisinel.

La mise en place du VPN a été un succès au Mali. Cette solution a suscité un très fort intérêt de la part des professionnels locaux. Le réseau VPN fonctionne aujourd'hui parfaitement entre plusieurs écoles.

7.2.4 Proposer une stratégie d'adressage

7.2.4.1 Plan d'adressage

Une des premières tâches a été la création d'un plan d'adressage du réseau (*voir Figure 5 et annexe 8 – Plan d'adressage*). Il fallait définir des plages d'adresses pour les 13 réseaux locaux des cyber espaces. Chacune des écoles ayant entre 15 et 30 postes clients et une imprimante réseau. Il fallait également prévoir que quelques écoles supplémentaires devraient rejoindre le réseau durant les prochaines années.

7.2.4.2 Méthodologie

Nous avons décidé d'utiliser les adresses privées allant de 192.168.0.0 à 192.168.255.255 pour les réseaux locaux. La première école se voyant attribuer la plage d'adresse IP 192.168.1.0, la deuxième école la plage d'adresses IP 192.168.2.0, etc. La plage d'adresses 192.168.0.0 est utilisées par l'AGETIC pour ses propres besoins. Ces tranches permettent de disposer de suffisamment d'adresses pour les besoins des réseaux locaux.

Ce découpage effectué, les 10 premières adresses IP ont été réservées pour les équipements réseaux. Les autres sont disponibles pour être distribuées via le protocole DHCP. Le serveur local utilise toujours la première adresse de la tranche. Par exemple, l'adresse IP du serveur de la deuxième école est 192.168.2.1. L'imprimante réseau utilise toujours la cinquième adresse de la tranche. Par exemple, l'adresse IP de l'imprimante de la deuxième école est 192.168.2.5.

7.2.4.3 Réseau VPN

Le réseau VPN nécessitait aussi un plan d'adressage (voir *Figure 5 et annexe 8 – Plan d'adressage*). Chaque serveur doit être identifié sur le VPN par une adresse IP privée, différente de celles du réseau local. La solution a consisté à choisir la plage d'adresses IP 192.168.100.0 pour le réseau VPN. Le serveur de la première école recevant l'adresse IP 192.168.100.1, celui de la deuxième école l'adresse IP 192.168.100.2, etc. Le serveur situé à l'AGETIC a reçu l'adresse IP 192.168.100.100.

7.2.4.4 Évolution

Le choix de ce plan d'adressage a aussi ses limites. Si trop d'écoles devaient être intégrées au réseau, le nombre de tranches disponibles pourrait devenir insuffisant d'ici plusieurs années. Plusieurs possibilités seraient alors envisageables :

- a) découper une plage d'adresses IP 192.168.x.0 entre deux écoles.
- b) changer la classe d'adresse IP privée et utiliser par exemple les adresses 10.0.0.0.

7.2.5 Proposer une stratégie de sauvegarde

La sauvegarde des données est vitale dans une infrastructure informatisée. Il est relativement simple de réinstaller un système d'exploitation corrompu. Par contre, la perte des données peut avoir des conséquences dramatiques.

Après un examen de la structure du réseau, il est apparu que ce sont les informations contenues sur les serveurs qui sont les plus importantes. En effet, c'est sur ces machines que sont stockées les ressources informatiques créées par les maîtres d'école et partagées à travers la plate-forme moodle.

7.2.5.1 Méthode

Il existe de nombreuses possibilités de sauvegarde des données sur un système Linux. La seule limitation était de trouver une application non graphique pour être utilisable sur les serveurs. La solution qui a été adoptée consiste en la mise en place de scripts de sauvegarde qui se basent sur les utilitaires `cron`⁴⁰ and `tar`⁴¹ du système⁴². Son intérêt est de permettre le paramétrage précis des répertoires à sauvegarder, ainsi que du type de sauvegarde et qu'elle est accompagnée d'un système de `log`⁴³.

⁴⁰ `cron` permet aux utilisateurs des systèmes Unix d'exécuter automatiquement des tâches à une date et une heure spécifiées à l'avance. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Cron>

⁴¹ `tar` est l'outil d'archivage de fichiers standard d'Unix.

⁴² http://gentoo-wiki.com/HOWTO_Backup

⁴³ Un `log` est un fichier contenant un historique des événements affectant un processus particulier. http://fr.wikipedia.org/wiki/Historique_%28informatique%29

7.2.5.2 Lieu de sauvegarde

La sauvegarde des données s'effectue sur un disque dédié aux sauvegardes sur le serveur (voir chapitre 7.2.8 - *Proposer une stratégie d'utilisation des disques durs sur les serveurs*).

7.2.5.3 Politique de sauvegarde

La politique de sauvegarde que nous avons adoptée est la suivante :

- La sauvegarde complète est exécutée chaque 1^{er} jour du mois.
- La sauvegarde différentielle⁴⁴ est exécutée une fois par semaine.
- La sauvegarde incrémentale⁴⁵ est exécutée tous les autres jours.

7.2.5.4 Répertoires sauvegardés

Les répertoires suivants sont sauvegardés, car ils contiennent les données les plus importantes du serveur :

Tableau 1
Liste des répertoires sauvegardés

Répertoire sauvegardés	Contenu du répertoire
/home	répertoire personnel des utilisateurs
/etc	fichiers de configurations de la machine
/var/lib	informations d'état des applications et du système
/var/www	contenu du serveur HTTP (par exemple les cours de moodle)

7.2.5.5 Améliorations

L'institut de physique d'Helsinki (Helsinki Institute of Physics - Technology Program (HIP-TEK)) a développé une solution de sauvegarde des données permettant d'utiliser les espaces disques libres sur des postes de travail⁴⁶. Cette solution pourrait améliorer la sécurité des données sans investissement matériel complémentaire.

Une autre amélioration serait la mise en place de procédures de sauvegardes pour les postes clients contenant des données sensibles. Cet aspect n'a pas du tout été développé pour le moment.

⁴⁴ Sauvegarde de tous les fichiers créés ou modifiés depuis la dernière sauvegarde complète. http://fr.wikipedia.org/wiki/Sauvegarde#Sauvegarde_diff.C3.A9rentielle

⁴⁵ Sauvegarde de tous les fichiers créés ou modifiés depuis la dernière sauvegarde quel que soit son type (complète, différentielle ou incrémentale).
http://fr.wikipedia.org/wiki/Sauvegarde#Sauvegarde_diff.C3.A9rentielle

⁴⁶ <http://gridblocks.hip.fi/components/storage/index.html>

7.2.6 Proposer une stratégie d'administration du réseau

L'AGETIC est responsable de la maintenance du réseau de cyber espaces. Pour pouvoir remplir cette mission, il était nécessaire de leur garantir un accès à distance aux serveurs des écoles. Un compte particulier possédant les droits d'administration (*admin-agetice*) a été créé à cette intention.

Chaque serveur des cyber espace possède donc deux comptes utilisateurs :

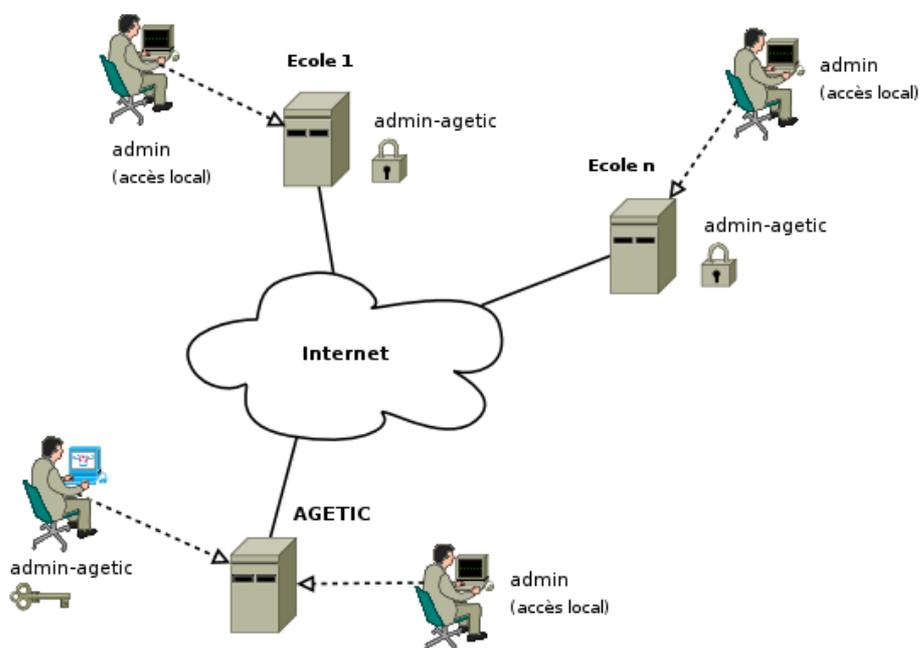
Tableau 2
Liste des comptes d'administration

Nom du compte	Utilité du compte	Propriétaire du compte
admin	administrateur local	administrateur du cyber espace
admin-agetice	super administrateur	techniciens de l'AGETIC

Il existe donc deux niveaux d'administration (voir Figure 7) :

- 1) Le premier niveau est celui de l'administrateur local qui a un accès privilégié sur le serveur de son école uniquement.
- 2) Le deuxième niveau est celui du super administrateur qui a un accès privilégié sur les serveurs de toutes les écoles.

Figure 7
Stratégie d'administration du réseau



7.2.7 Économiser la bande passante

Une des exigences était de fournir une connexion Internet haut débit⁴⁷ pour chacune des écoles. Cependant, il était nécessaire de mettre en place des solutions pour minimiser l'utilisation de la bande passante. Certaines des mesures appliquées ont été décrites dans la partie concernant les services des serveurs (*voir chapitre 7.2.1 – Mettre en place un réseau local*), les autres sont décrites ci-dessous :

7.2.7.1 Dépôt local

La première mesure proposée a été la création d'un dépôt local (*voir annexe 9 – Création d'un dépôt local*). Un dépôt est un serveur qui stocke la distribution utilisée, les mises à jour et toutes les applications. Ce dépôt est normalement accessible sur Internet, mais on peut aisément le reproduire sur un serveur local. Cette technique permet la mise à jour d'un poste client ou l'installation de nouvelles applications sans connexion à Internet.

Créer un dépôt local demande d'avoir préalablement téléchargé les paquets⁴⁸. Cette étape a été réalisée durant la phase de laboratoire. La récupération des paquets est assez simple, car chaque paquet téléchargé est stocké dans un répertoire dédié. Il suffit alors de copier ce répertoire sur un disque dur externe. Ensuite, il est facile de copier le répertoire sur le serveur de dépôt local. Il suffit alors de configurer les postes clients pour qu'ils utilisent le dépôt local plutôt qu'un dépôt situé sur Internet.

Nous avons créé un dépôt local qui a été utilisé avec succès pour la mise à jour de tous les postes clients de la salle de formation. L'utilisation de ce dépôt local a nécessité le développement d'un script de mise à jour des postes clients (*voir annexe 10 – Script de mise à jour des clients*). Le script se charge de faire toutes les mises à jour du système, d'installer tous les codecs pour le multimédia ainsi que certaines applications supplémentaires (gFTP, Acrobat Reader, ...).

Concrètement, la mise en place d'un dépôt local fonctionne de manière très satisfaisante. Toutefois cette solution n'a pas été retenue pour l'implantation dans les écoles, car ce système ne permet pas d'intégrer facilement les nouvelles mises à jour depuis Internet.

⁴⁷ Selon les standards malien, cela correspond à une connexion permanente de 128 kB ou 256 kB.

⁴⁸ Les logiciels Linux sont souvent disponibles soit sous forme de paquets. C'est la méthode privilégiée pour installer des applications avec la distribution Ubuntu.

7.2.7.2 Apt-cacher

La seconde mesure que nous avons mis en place a été de créer un cache des mises à jour, centralisé sur le serveur local. L'application apt-cacher permet de créer, au niveau du serveur, un cache partagé entre les utilisateurs. Lorsqu'une machine du réseau télécharge une mise à jour depuis Internet, celle-ci est stockée dans le cache du serveur. La prochaine machine à faire la même mise à jour vérifiera en priorité sa présence dans le cache du serveur local. Lorsque 30 machines doivent être mises à jour, les données ne sont téléchargées qu'une seule fois depuis Internet. La seule contrainte pour faire fonctionner apt-cacher est l'utilisation d'un serveur HTTP.

Les avantages d'apt-cacher par rapport à la création d'un dépôt local ont conduits à adopter cette solution pour l'implantation dans les écoles.

7.2.8 Proposer une stratégie d'utilisation des disques durs sur les serveurs

Les serveurs du projet possèdent tous 6 emplacements pour des disques SCSI⁴⁹. Nous avons à disposition 65 disques durs de 2ème main d'une capacité de 18 [GB]. Nous disposons également de 14 disques durs neufs d'une capacité de 72 [GB]. Il fallait donc décider de quelle manière répartir les disques entre les serveurs.

7.2.8.1 Idée retenue

Par souci d'homogénéité, nous avons décidé de conserver la même organisation des disques sur chacun des serveurs. La seule contrainte que nous nous sommes fixés était de placer dans chaque serveur un disque dur de 72 [GB].

Un système Ubuntu a besoin d'environ 2 [GB] pour une installation de base. La décision finale a été la suivante (*voir Figure 8 et annexe 11 – Structure des disques des serveurs*) :

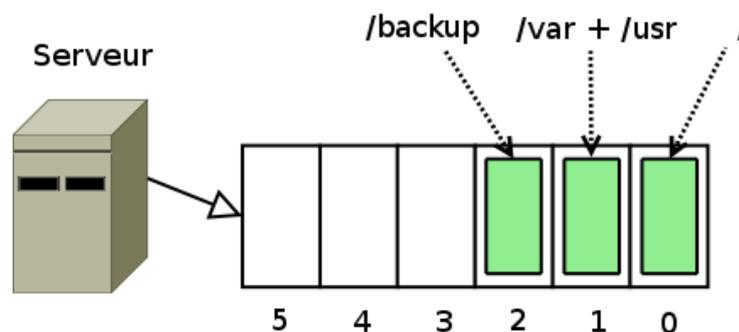
- Un disque dur de 18 [GB] contenant la racine du système dans le premier emplacement du serveur.
- Le disque dur de 72 [GB] contenant les répertoire /var et /usr⁵⁰ dans le deuxième emplacement du serveur.
- Un disque dur de 18 [GB] destiné à recevoir les sauvegardes du système dans le troisième emplacement du serveur.

⁴⁹ SCSI (Small Computer System Interface) est un standard définissant un bus informatique permettant de relier un ordinateur à des périphériques ou bien même à un autre ordinateur. <http://fr.wikipedia.org/wiki/SCSI>

⁵⁰ Le répertoire /var contient toutes les données variables du système (par exemple : la queue des mails, le contenu du serveur HTTP, ...) et le répertoire /usr contient toutes les applications installées sur la machine.
http://fr.wikipedia.org/wiki/Filesystem_Hierarchy_Standard

Le solde des disques est conservé à l'AGETIC comme matériel de rechange en cas de panne de l'un ou l'autre des disques.

Figure 8
Emplacement des disques durs



7.2.9 Réfléchir au problème d'instabilité du réseau électrique

Les coupures d'électricité représentent un problème majeur au Mali pour les infrastructures informatisées. Chaque jour, plusieurs coupures de courant de quelques secondes à plusieurs heures se produisent. Le reste du temps le réseau électrique est ponctué de nombreuses micros-coupures⁵¹.

7.2.9.1 Mesures

Pour répondre à ce problème, un onduleur a été prévu dans chaque école. L'onduleur est capable de supporter la charge d'un réseau local pendant environ 8 minutes. Ce laps de temps laisse la possibilité aux utilisateurs de sauvegarder leur travaux et de quitter proprement leur session.

Lorsque l'onduleur arrive au terme de sa capacité de fonctionnement, un signal est envoyé à tous les ordinateurs du réseau pour les éteindre proprement⁵². Cette mesure évite d'avoir des systèmes dans un état incohérent.

Une attention toute particulière a été portée au test des comportements du réseau et en particulier du serveur en cas de coupure de courant. Il semblait important par exemple, de savoir si le serveur redémarrait automatiquement lorsqu'une coupure d'électricité l'avait arrêté de manière abrupte.

⁵¹ Micros-coupures de courant, c'est-à-dire des coupures électriques de quelques millièmes de seconde pouvant se traduire par le redémarrage de l'ordinateur.

⁵² http://www.powerware.com/France/software/FR_Lansafe5.asp?CC=1

7.2.10 Mettre en place une infrastructure sécurisée

Linux est un environnement réputé pour être plus sécurisé que Windows. Ce postulat est vrai du moment que l'utilisateur respecte certaines règles de base. Une infrastructure sécurisée nécessite un système correctement configuré, mais aussi une sensibilisation des utilisateurs aux problèmes de sécurité.

7.2.10.1 Règles de sécurité

Nous avons essayé de faire adopter aux utilisateurs de la distribution Ubuntu, et en particulier aux techniciens de l'AGETIC, ces quelques règles de sécurité :

- 1) ne jamais se loguer avec le compte root⁵³.
- 2) mettre à jour le système régulièrement.
- 3) lire les courriers destinés au root.
- 4) consulter les logs régulièrement.
- 5) configurer correctement le firewall.
- 6) sauver les données régulièrement.
- 7) choisir des mots de passe non triviaux.
- 8) vérifier régulièrement la présence de rootkits (*voir chapitre 7.2.10.6 - Virus*).
- 9) vérifier l'emprunte md5⁵⁴ après un téléchargement.
- 10) préférer les protocoles sécurisés (SSH⁵⁵ plutôt que telnet, SCP⁵⁶ plutôt que FTP).
- 11) ne pas exécuter une application sans être certain de sa provenance.
- 12) donner uniquement les droits nécessaires aux utilisateurs.
- 13) minimiser les services. (Si un service n'est pas réellement utile, alors il est dangereux).

⁵³ Sur les systèmes d'exploitation de type Unix, root est le nom conventionnel de l'utilisateur qui possède tous les droits et permissions. http://fr.wikipedia.org/wiki/Utilisateur_root

⁵⁴ MD5 (Message Digest 5) est une fonction de hachage cryptographique qui permet d'obtenir pour chaque message une empreinte numérique. Cette empreinte peut servir à vérifier l'intégrité d'un téléchargement. <http://fr.wikipedia.org/wiki/MD5>

⁵⁵ SSH (Secure Shell) est un protocole de communication sécurisé qui permet d'administrer un système à distance. http://fr.wikipedia.org/wiki/Secure_shell

⁵⁶ SCP (Secure copy) désigne le protocole permettant de réaliser une copie sécurisée de fichiers entre différentes machines au travers d'une session sécurisée SSH. http://fr.wikipedia.org/wiki/Secure_copy

7.2.10.2 Gestion des mots de passe

La stratégie que nous avons adoptée a consisté à utiliser un mot de passe unique durant toute la phase de formation. Le mot de passe utilisé a l'avantage d'être suffisamment complexe, alternant majuscule et minuscules, lettres et chiffres, pour avoir confronté les utilisateurs à quelques difficultés de manipulation du clavier. Cela a contribué à les familiariser avec le clavier.

Très souvent, le mot de passe entré par les utilisateurs lors de l'installation du système d'exploitation était incorrect. La solution consistait alors à relancer le système en mode rescue. Le mode rescue fonctionne sans interface graphique et donne un accès au système d'exploitation en tant que root. Il est alors aisé de corriger le mot de passe.

serveur

Les administrateurs des réseaux locaux ont été rendu attentifs au fait qu'il était nécessaire de modifier le mot de passe par défaut une fois les machines installées dans leur école.

7.2.10.3 GRUB

GRUB est le boot loader⁵⁷ par défaut de la distribution Ubuntu. Il permet entre autres de choisir le noyau Linux⁵⁸ que l'on veut utiliser. Il a aussi la particularité de permettre un démarrage en mode rescue. Ce mode est utile pour réparer un système défectueux ou modifier un mot de passe oublié. Toute personne ayant accès à la machine peut donc se loguer comme root. Pour palier à ce problème, il suffit d'activer un mot de passe pour l'accès au mode rescue.

7.2.10.4 Séquence de démarrage

Les live CD⁵⁹ peuvent représenter une faille de sécurité. A partir du moment où un accès physique à la machine est possible, l'utilisation d'un live CD permet de se loguer sur le système avec les droits d'administration. C'est une des raisons pour lesquelles un serveur devrait toujours être isolé dans un local dédié et ne permettre l'accès qu'aux personnes autorisées.

⁵⁷ Un boot loader est un programme qui permet de choisir entre plusieurs systèmes d'exploitations au démarrage de son ordinateur. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Multiboot>

⁵⁸ Le noyau Linux est le coeur du système d'exploitation. Un ordinateur peut stocker plusieurs version différentes du noyau et de la sélectionner au démarrage.

⁵⁹ Un Live CD stocke un système d'exploitation exécutable sans installation, appelé aussi distribution Live. <http://fr.wikipedia.org/wiki/LiveCD>

Cette précaution n'était pas possible dans les salles de classe du Mali. Les serveurs se trouvent dans la même pièce que les ordinateurs. Toute personne autorisée à utiliser l'informatique a donc un accès au serveur.

La solution que nous avons adoptée a consisté à changer la séquence de démarrage du serveur. Cette mesure permet de faire en sorte que le système d'exploitation soit chargé en priorité depuis le disque dur, ce qui court-circuite le démarrage d'un live CD. Le BIOS⁶⁰ permet de modifier la séquence de démarrage. Afin d'empêcher une personne non autorisée de modifier cette séquence, il suffit de mettre un mot de passe.

7.2.10.5 Firewall

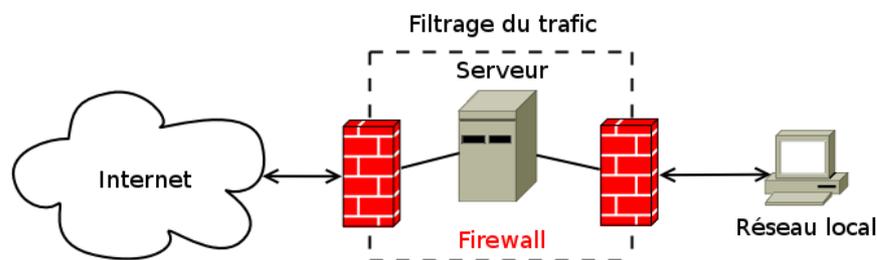
Lorsque on connecte un serveur à Internet, le premier outil à mettre en place pour contrôler le trafic réseau est un firewall⁶¹. On peut alors décider quel trafic est autorisé et quel trafic est proscrit. Un firewall n'est pas une garantie de sécurité absolue, mais il se révèle très efficace quand il est correctement configuré.

Architecture

Nous n'avons pas les moyens de dédier une machine à la fonction de filtrage des réseaux locaux. Le serveur a donc hérité de ce rôle, étant donné que tout le trafic réseau passe par cette machine (voir Figure 9).

Il aurait été possible d'installer un firewall supplémentaire sur chaque machine du réseau. Cette mesure ne nous a pas semblé pertinente dans la mesure où il n'y a pas de machine contenant des données sensibles. De plus, Ubuntu ferme tous les ports de la machine par défaut.

Figure 9
Concept de mise en place du firewall



⁶⁰ Le BIOS est un petit programme enregistré sur la carte mère. Il permet de configurer le matériel dont est composé l'ordinateur, indépendamment de tout système d'exploitation.

⁶¹ Un firewall (pare-feu en français) a pour fonction de faire respecter la politique de sécurité du réseau, celle-ci définissant quels sont les types de communication autorisés ou interdits. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Pare-feu>

Choix du firewall

Le choix du firewall s'est porté sur Netfilter qui est un module du noyau Linux. Netfilter permet de contrôler, modifier et filtrer les paquets IP, ainsi que de suivre les connexions. Il intercepte et manipule les paquets IP avant et après le routage. Pour configurer netfilter, on se sert d'une interface en ligne de commande, appelée iptables.

Configuration

Le manque de temps ne nous a pas permis de préparer la configuration du firewall dans la phase de laboratoire. Heureusement, il restait quelques jours de marge avant que le firewall soit concrètement installé pendant la formation. Ce délai nous a permis de réfléchir au problème directement au Mali. Pour définir les règles du firewall, la première mesure a été de lister tous les services disponibles sur le serveur et déterminer quels protocoles ils utilisent.

Tableau 3
Services du firewall

Port	Service	Protocole
22	SSH	TCP/UDP
25	SMTP	TCP
53	DNS	TCP/UDP
67:68	DHCP	TCP/UDP
80	WWW	TCP/UDP
123	NTP	TCP/UDP
443	HTTPS	TCP/UDP
631	IPP	TCP/UDP
3142	Apt-cacher	TCP/UDP
5000	VTun	TCP/UDP
5432	PostgreSQL	TCP/UDP
-	PING	ICMP

L'étape suivante a consisté à schématiser les interactions avec le firewall, d'abord pour son rôle de serveur du réseau local (*voir Figure 10*), puis pour son rôle de client du réseau Internet (*voir Figure 11*).

Figure 10
Interactions du firewall – rôle de serveur

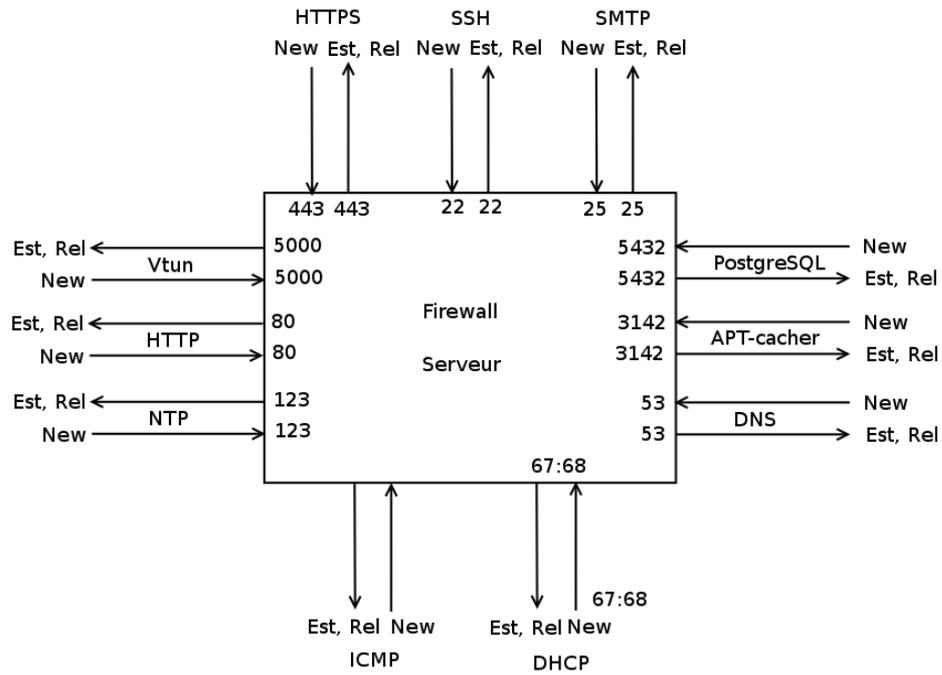
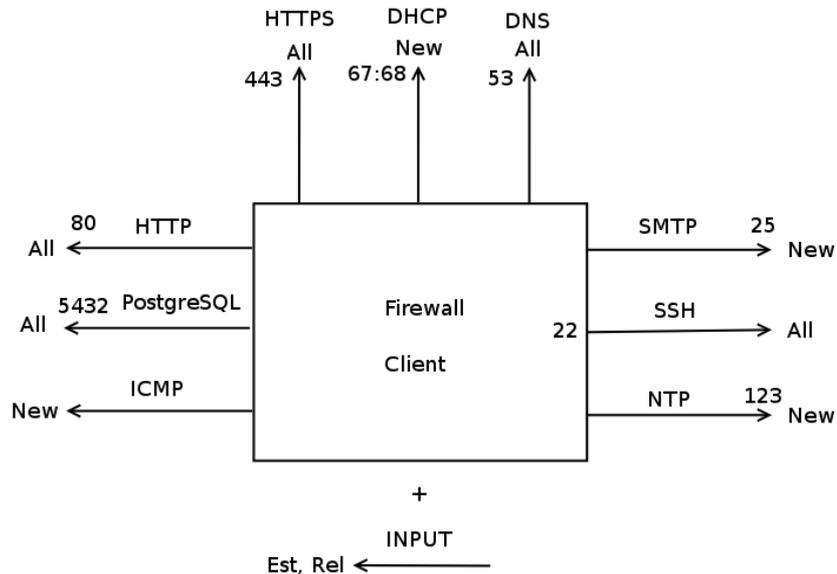


Figure 11
Interactions du firewall – rôle de client



La configuration à mettre en place a été déterminée en dehors des heures de formation, en collaboration avec le professeur Arturo Montejo Ráez qui avait travaillé sur les règles du firewall de l'Université de Jaen.

Politique

Nous avons adopté la politique suivante :

- On bloque tout le trafic entrant et sortant par défaut.
- On autorise au cas par cas, en fonction des services du serveur (HTTP, SSH, ...).
- On autorise le trafic appartenant ou lié à des connexions déjà établies, ainsi que le trafic local.

Outils

Iptraf est un utilitaire, fonctionnant sans interface graphique, qui permet de contrôler le trafic qui transite par les interfaces réseau. Grâce à cet outil, il a été plus simple de déterminer les ports, les protocoles, les sources, les destinations et les interfaces utilisés par les paquets. On peut ainsi déterminer pourquoi le firewall ne réagit pas comme prévu initialement.

Tests

Nous avons utilisé différents outils de test pour vérifier la pertinence des règles du firewall, comme l'utilitaire netsat qui permet de connaître la liste des ports ouverts ou encore le scanner de port nmap.

Scripts

La règles du firewall sont décrites dans un script (*voir annexe 15 – Installation du serveur*).

7.2.10.6 Virus

Les virus constituent une des principales menaces des environnements informatiques. Les techniciens de l'AGETIC avaient beaucoup d'intérêt à savoir comment cela se passe sur les environnements de type Linux.

Linux et Virus

Linux est un environnement pratiquement dépourvu de virus. Ceci est dû à l'architecture du système qui rend difficile leur exécution. Un virus sera limité par les droits de l'utilisateur. Étant donné que l'on ne se logue jamais avec les droits de l'administrateur, le virus n'aura qu'un impact très limité sur le système. Le peu de machines tournant sous des systèmes Linux à travers le monde a également une influence positive. Une personne malveillante qui écrit un virus aura tendance à chercher la simplicité et le destinera au plus grand nombre de machines possible. Il se tournera alors naturellement vers les système de type Windows.

La meilleure mesure pour contrer les virus consiste à mettre à jour régulièrement le système. La plupart des virus répertoriés à l'heure actuelle sur Linux touchent les serveurs, profitant de failles logicielles sur des systèmes qui n'ont pas été mis à jour.

Intérêt d'un antivirus

L'intérêt de faire tourner un antivirus sous Linux est de protéger les machines qui tournent sous Windows :

- Scanner un disque Windows sur la machine
- Scanner des machines Windows sur un réseau
- Scanner les mails que l'on va envoyer

Il n'existe aucun antivirus possédant une base de données scannant spécifiquement les virus Linux. Les antivirus actuels cherchent uniquement les virus Windows. Nous n'avons pas jugé nécessaire d'installer d'antivirus sur notre réseau, car le parc est composé uniquement de machines tournant sous Linux.

Rootkit

Par contre, les systèmes Linux sont plus sensibles aux rootkits. Un rootkit est un programme permettant à un pirate de maintenir un accès frauduleux sur le système. Ce n'est pas un virus, car il ne se réplique pas. Un rootkit ne s'installe pas tout seul. Il nécessite l'intervention d'un utilisateur possédant les droits d'administration. Cela signifie qu'il faut initialement disposer d'un accès frauduleux, avec les droits du root pour mettre en place un rootkit.

La meilleure protection consiste à mettre à jour régulièrement le système pour corriger les failles de sécurité. Nous avons également proposé la solution qui consiste à exécuter régulièrement l'outil de détection de rootkit `chkrootkit`⁶².

7.2.10.7 Mise à jour

La mise à jour du système d'exploitation est la meilleure solution pour disposer d'un environnement sécurisé. Dès qu'une faille de sécurité ou qu'un bug est découvert dans un logiciel ou dans le noyau, la communauté de développeurs réagit immédiatement et une mise à jour est proposée très rapidement. En mettant à jour le système régulièrement, on réduit la fenêtre d'utilisation de ces failles.

⁶² Chkrootkit est un logiciel permettant de détecter si un système Unix n'a pas été compromis par un rootkit. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Chkrootkit>

postes client et serveur

Les postes clients disposent d'un gestionnaire de mises à jour automatique grâce à l'environnement GNOME⁶³. Cela garantit que les machines bénéficient toujours de la version la plus récente du système.

Un tel gestionnaire de mises à jour n'existe pas sur la version serveur d'Ubuntu. La solution que nous avons mise en place consiste en un script de mises à jour, exécuté régulièrement grâce à l'utilitaire cron (*voir annexe 5 - Installation du serveur*).

7.2.10.8 Messages non sollicités

Nous avons sensibilisé les participants au nombreux messages non sollicités qui circulent sur Internet, que ce soit du spam ou des pop ups. Une parfaite illustration de ce phénomène a eu lieu durant la formation lorsqu'un des participants était persuadé d'avoir gagné un million. Malheureusement, il a dû déchanter lorsque nous lui avons expliqué que ce genre de messages est fréquent sur Internet.

7.2.11 Inventorier le matériel

Lorsque on gère du matériel informatique, il est très important de disposer d'un inventaire. Il faut être capable de savoir quel matériel est installé à quel endroit et quelles ressources sont encore à disposition. L'AGETIC ayant reçu la mission de gérer et de maintenir le parc informatique du projet "Cyber Edu", il était essentiel qu'ils comprennent la nécessité d'inventorier le matériel et de tenir à jour les listes. La gestion du matériel est rendue plus difficile, du fait que les ordinateurs sont disséminés sur 13 sites différents.

a) Dépannage

Lorsque l'administrateur d'un réseau local prend contact avec un technicien de l'AGETIC pour un problème matériel, il faut être capable de déterminer exactement de quel équipement il s'agit.

b) Stock

Un inventaire permet d'obtenir une traçabilité du matériel. Cette traçabilité est indispensable pour ne pas perdre de matériel et pour essayer de limiter le détournement d'équipements pour des usages non planifiés.

⁶³ GNOME, acronyme de GNU Network Object Model Environment, est un environnement graphique libre très populaire sur les systèmes GNU/Linux.
<http://fr.wikipedia.org/wiki/GNOME>

7.2.11.1 Le moment de l'inventaire

Tout le matériel envoyé au Mali a été initialement centralisé à l'AGETIC. Pour une question d'organisation, il n'a pas été possible d'inventorier le matériel à la livraison. C'est donc lors de la phase d'installation des ordinateurs destinés aux deux premières écoles que ce travail de fond a débuté (*voir chapitre 7.2.12 – Organiser l'industrialisation des installations*).

7.2.11.2 Système de numérotation

Afin d'identifier chaque équipement de manière unique, un système de numérotation a été mis en place. Ce système de numérotation devait permettre une discrimination parfaite des équipements et être évolutif. La décision a été prise de laisser les techniciens et responsables de l'AGETIC faire eux-mêmes le choix du système de numérotation. Cette manière de procéder a permis de les impliquer dans le processus d'identification du matériel.

Chaque équipement a reçu un numéro de type *BAMK_0012*. Ce numéro peut se traduire de la façon suivante :

- *BA* signifie District de Bamako.
- *MK* signifie Groupe scolaire de Mamadou Konate.
- *0012* permet d'identifier l'équipement avec un numéro unique.

7.2.12 Organiser l'industrialisation des installations

L'installation d'un système d'exploitation est une opération fastidieuse. L'expérience acquise par le Dr Dominique Hausser, au Royaume du Lesotho, l'a poussé très rapidement à vouloir mettre en place une solution pour industrialiser les installations.



Illustration 3: Industrialisation des installations

7.2.12.1 Contexte

L'installation d'un système d'exploitation et sa mise à jour sur plus de 240 machines est difficilement réalisable manuellement (*voir annexe 12 – Installation des postes clients*).

L'installation de la distribution Ubuntu dure environ 45 minutes⁶⁴. L'étape suivante consiste à mettre à jour le système. La version du CD que nous avons utilisée datait du mois de juin. 350 mises à jour devaient être installées, ce qui augmentait considérablement le temps d'installation (*voir Figure 12*). La dernière étape est la configuration manuelle de chaque machine.

Figure 12
Mises à jour de la distribution Ubuntu



7.2.12.2 Solution

Toutes les machines devaient être équipées avec les mêmes configurations. Tous les postes clients ont donc été installés avec les mêmes applications et les mêmes comptes utilisateurs ont été créés.

Tableau 4
Comptes utilisateurs sur les postes clients

Nom du compte	Utilité
prof	compte du professeur
eleve	compte des élèves
admin	compte de l'administrateur

⁶⁴ Cette durée peut varier en fonction de la configuration de la machine. Une machine plus puissante nécessitera un délai plus court.

Le fait d'installer un grand nombre de machines similaires nous permettait d'envisager la mise en place d'une solution de clonage⁶⁵. Cette technique est plus communément appelée un "ghost" en référence à Norton Ghost de Symantec, pionnier de cette technologie sous Windows.

Un clonage peut avoir deux utilités bien distinctes, quoi que non exclusives :

a) Créer d'une image de son propre ordinateur au moment où celui-ci est parfaitement fonctionnel. En cas de problème, il est aisé de réinstaller le système d'exploitation, retrouver toutes ses applications et ses configurations. Cette technique est beaucoup plus rapide qu'une réinstallation avec le CD d'installation.

b) Installer le même système sur plusieurs machines possédant les mêmes caractéristiques. C'est cette fonctionnalité qui nous intéressait.

7.2.12.3 Avantages

L'installation manuelle d'une machine prenait des heures. La même opération avec un utilitaire de clonage prend environ 10 minutes. Il est également possible d'installer jusqu'à dix machines en parallèles avec l'utilisation d'un réseau.

7.2.12.4 Contraintes

La mise en place d'un système de clonage nécessite beaucoup de préparation. Il faut tester les procédures, répertorier les configurations du matériel, créer les images disques et documenter les procédures.

La plus importante contrainte pour que le clonage fonctionne correctement est d'avoir des configurations matérielles parfaitement identiques. Par chance, toutes les machines envoyées par le canton de Genève sont des PC, ayant pour la plupart des configurations matérielles identiques. Toutefois, en répertoriant les machines, nous avons découvert des disques durs de marque et de capacité de stockage différentes. Des disques durs de marque Seagate, Maxtor, Hitachi, Western Digital et HP, avec des capacités de 10, 13, 15, 20 [GB] ont été découverts. Cette hétérogénéité nous a obligé à installer manuellement une machine originale pour chacune des configurations répertoriées.

⁶⁵ Cette technique consiste à créer une image des partitions avec un logiciel spécialisé dans le but de pouvoir réinstaller facilement le système et les configurations sur sa propre machine ou sur d'autres machines.
http://fr.wikipedia.org/wiki/Ghost_%28informatique%29

7.2.12.5 Problèmes rencontrés

Bien que tous les ordinateurs aient été testés avant leur expédition pour le Mali, plusieurs machines ont posé des problèmes lors du test matériel. Parfois, le lecteur de CD ne fonctionnait plus, la carte réseau était hors service, le disque dur était débranché ou encore la vitesse des barrettes de mémoire était inadaptée. La plupart de ces problèmes matériels ont pu être réparés assez rapidement.

Lors du démarrage, certaines machines émettaient des beep⁶⁶ avec insistance. Une simple manipulation des barrettes permettait presque toujours de régler le problème. Ce phénomène s'explique par le fait que les vibrations dans le container, lors du transport des machines, a eu une incidence négative sur le matériel.

Pour palier aux problèmes matériels, quelques machines supplémentaires, destinées à servir de pièce de rechange sont stockées à l'AGETIC.

7.2.12.6 Formatage de bas niveau

Les tests de clonage initiaux ont mis en évidence que des disques de marques différentes, présentant pourtant les mêmes caractéristiques, sont rarement compatibles. La taille du disque dur original doit être égale ou inférieure à la taille du disque dur de la machine où l'image doit être installée. Si cette caractéristique n'est pas respectée, la tentative d'installation se soldera par un plantage du système et conduira à avoir un disque dur incohérent. Le système est alors totalement inutilisable. Même une installation du système depuis un CD ne permet pas de résoudre le problème. La seule solution consiste à effectuer un formatage de bas niveau⁶⁷ du disque dur. Cette opération terminée, le disque dur est à nouveau prêt à recevoir un système d'exploitation.

7.2.12.7 Choix de l'utilitaire de clonage

Il fallait trouver une application libre proposant les mêmes fonctionnalités que Norton Ghost de Symantec, mais tournant sur les systèmes Linux. La première alternative envisagée était la commande dd qui permet de copier intégralement une partition. Bien qu'elle soit très puissante, elle a le désavantage de copier tous les blocs d'un disque dur, même les blocs vides.

⁶⁶ Un beep est un son qui indique un problème au démarrage d'un ordinateur.
http://en.wikipedia.org/wiki/Beep_%28sound%29

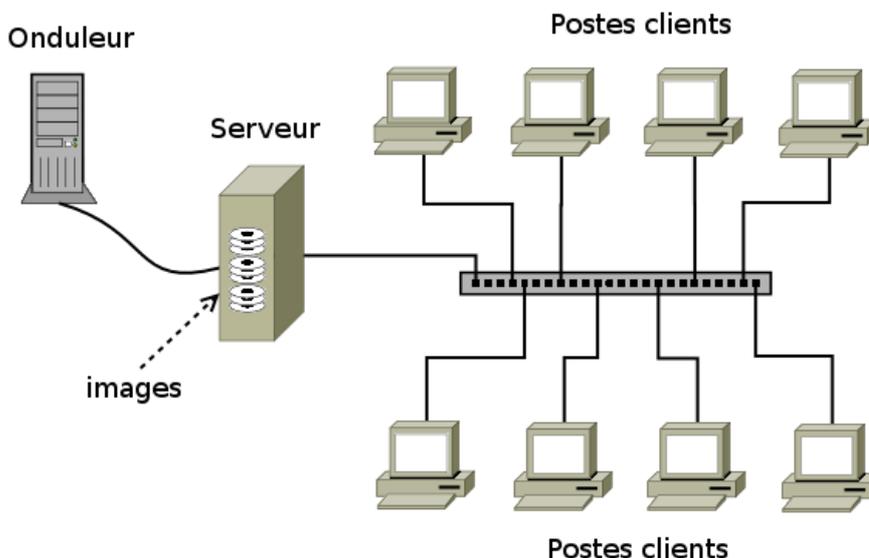
⁶⁷ Un formatage bas niveau n'est théoriquement pas pratiqué par un utilisateur. Ce niveau, dit "physique" prépare la surface du disque et détermine certains paramètres techniques avant un formatage de haut niveau.

L'utilitaire que nous avons sélectionné s'appelle partimage (*voir annexe 13 – Utilisation de partimage*). Partimage est d'une utilisation assez simple et il est disponible dans les dépôts Ubuntu en français. Partimage est aussi utilisable depuis un CDRom bootable SysRecCD⁶⁸, c'est cette solution que nous avons adoptée.

7.2.12.8 Architecture

Partimage à l'avantage d'être utilisable sur un réseau. Nous avons profité de cette caractéristique pour mettre en place un serveur local dédié au stockage des images. Les images sont créées depuis les machines originales, puis envoyées à travers le réseau sur le serveur. Les machines à cloner téléchargent les images depuis le serveur local et les installe (*voir Figure 13*).

Figure 13
Architecture du réseau d'installation



7.2.12.9 Script d'activation et configuration

Pour activer le clonage depuis un poste client et pour automatiser la configuration du poste client, un script a été développé (*voir annexe 13 – Utilisation de partimage*). Ce script est stocké sur le serveur local. La première étape pour cloner une machine consiste à démarrer l'ordinateur avec le CDRom bootable SysRecCD. L'étape suivante consiste à télécharger le script d'activation du clonage depuis le serveur. Une exécution du script déclenchera l'installation par clonage du poste client.

⁶⁸ SystemRescueCd est un système linux complet, utilisable sous forme d'un CDRom bootable. Il offre la possibilité d'effectuer facilement des tâches d'administration sur une machine. http://www.sysresccd.org/Page_Principale

Pour que le script charge la bonne image et configure correctement la machine, cinq questions sont posées à l'utilisateur :

1. L'adresse IP du serveur local où se trouve l'image : 192.168.x.0
2. La taille du disque dur à cloner
3. La marque du disque dur à cloner
4. Le nom de la machine (hostname)
5. Le n° du LAN sur lequel sera installé le poste client

Le script va alors télécharger les bonnes images et les utiliser pour cloner la machine. Le clonage terminé, le script va utiliser les informations reçues en paramètres pour configurer le poste client⁶⁹.

7.2.12.10 Test final

Finalement, la décision a été prise de démarrer chacune des machines, afin de vérifier le bon fonctionnement du système. Cette opération a permis de garantir que le clonage avait réussi. Cette garantie était très importante avant le transport des machines vers les écoles.

7.2.13 Produire de la documentation orientée débutant

La documentation est un travail peu gratifiant et souvent sous-estimé par les informaticiens. Pourtant, elle constitue une composante essentielle du projet "Cyber Edu".

7.2.13.1 Importance

La première fonction de la documentation est de pouvoir reproduire, dans un autre environnement, l'architecture et les configurations définies par le projet.

La deuxième fonction de la documentation était de servir de documents de référence lors de la formation en informatique. Le professeur Arturo Montejo Ráez, responsable de cette formation, s'est appuyé sur les documents distribués aux participants pour structurer son cours.

7.2.13.2 Forme

La documentation devait pouvoir être appréhendée comme une recette de cuisine. Elle alterne donc les explications techniques et les lignes commandes à taper. Il suffit de

⁶⁹ Certaines informations sont différentes d'une machine à l'autre. Par exemple, le nom de la machine est unique ou encore le numéro de la passerelle peut varier.

suivre séquentiellement les étapes pour aboutir à une installation correcte des machines. Les documents se présentent sous forme de Howto.

7.2.13.3 Méthodologie

La méthode de rédaction de la documentation peut être décomposée en trois étapes (voir Figure 14) :

a) La première étape a consisté à créer une version préliminaire des documents sur la base du travail effectué au laboratoire de l'OT.

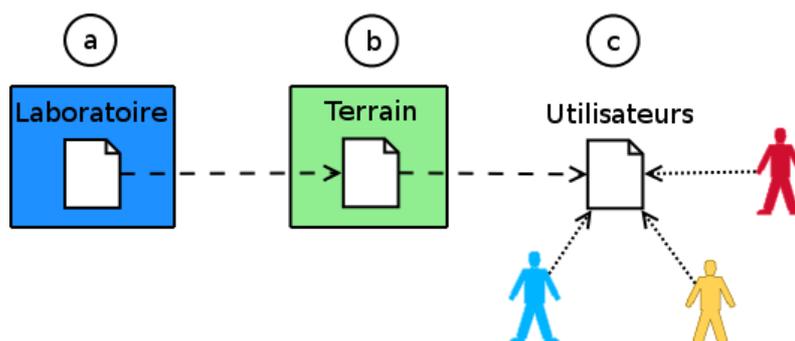
b) La deuxième étape a permis de valider les documents dans la salle de cours de l'AGETIC. Durant la semaine précédant la formation en informatique, nous avons mis en place un réseau local. Ces tests ont permis d'adapter les documents au terrain.

Nous avons également demandé aux techniciens de l'AGETIC d'installer des machines en se basant sur les Howto. De cette façon, nous avons eu une première idée de la manière dont les gens appréhendaient ces documents.

c) La troisième étape, la plus intéressante, s'est déroulée lors de la formation en informatique où les participants se sont basés sur la documentation pour installer et configurer les machines. Les réactions des participants ont permis de corriger certaines zones des documents qui n'étaient pas suffisamment compréhensibles.

Figure 14

Étapes de validation de la documentation



7.2.13.4 Distribution des documents

Tous les documents ont été imprimés à Genève, puis transportés à Bamako. La question s'est posée de savoir si il était utile d'imprimer une version des documents non validés. Le Dr Dominique Hausser, au Mali depuis plusieurs semaines, m'a convaincu du bon sens de cette démarche. Expérience faite, l'impression de tous les documents aurait été difficile à réaliser au Mali, car la seule imprimante à disposition est partagée entre de nombreux utilisateurs et le papier est rationné.

Les apprenants ont donc corrigé à la main les erreurs contenues sur les documents distribués. Pour qu'ils aient tout de même des documents à jour, nous avons gravé un CD pour chacun d'eux à la fin de la formation. Un CD de la distribution Ubuntu a également été distribué à chaque participant du cours. Par ailleurs, les documents sont téléchargeables sur le serveur de l'AGETIC.

7.2.13.5 Licence

Tout document publié sur Internet peut être lu et récupéré par n'importe qui. Il faut donc indiquer clairement la licence qui est appliquée. Nous avons sélectionné une licence Creative Commons⁷⁰, car c'est celle utilisée traditionnellement par les collaborateurs de l'OT. Cette licence⁷¹ permet de reproduire, distribuer et communiquer la création au public et de la modifier, avec l'obligation de citer l'auteur original et de partager avec des conditions identiques.

7.2.14 Proposer des solutions pour le suivi du projet

Le suivi du projet a toujours constitué le point faible du projet "Cyber Edu". Les quatre semaines de formation ont permis aux techniciens de l'AGETIC de se familiariser avec ces nouvelles technologies, mais ce délai est très court pour appréhender toutes les subtilités du système. Il fallait donc trouver le moyen d'assurer un suivi du projet à distance. La méthode mise en place consiste à répondre aux interrogations des techniciens de l'AGETIC par mail et par téléphone. Nous avons également conservé, pour le moment, la possibilité de nous loguer sur les serveurs depuis la Suisse.

7.3 Problèmes techniques rencontrés

7.3.1 Salles des écoles

Les deux premières salles de classe du district de Bamako auraient dû être installées à la fin de la deuxième formation. Le matériel était prêt, tous les postes clients étaient installés. Malheureusement, aucun des travaux nécessaires pour accueillir les ordinateurs n'avaient été effectués dans les écoles⁷². Finalement, les 2 écoles de Bamako ont été inaugurées par le ministre de l'éducation nationale et le ministre de la communication et des nouvelles technologies le 19 octobre 2006⁷³.

⁷⁰ Creative Commons est une organisation dévouée à l'expansion des œuvres, afin qu'elles soient libres à la réutilisation et/ou à la distribution.

⁷¹ <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/>

⁷² L'installation a eu lieu avant le départ du Dr Dominique Hausser, qui a ainsi pu vérifier que les deux cyber espaces fonctionnaient.
http://www.mali-ntic.com/article.php3?id_article=236

⁷³ http://www.essor.gov.ml/jour/cgi-bin/view_article.pl?id=13663

7.3.2 Changement d'adresse IP

Le serveur central situé dans les locaux de l'AGETIC nécessitait une adresse IP statique et publique. Cette adresse IP était obligatoire, afin de remplir sa mission de point central du réseau VPN et de serveur HTTP.

Durant la deuxième formation, la connexion Internet a été perdue à cause des travaux pour l'introduction de l'ADSL au Mali⁷⁴. N'ayant pas été avertis de ces travaux, il a fallu être flexible et adapter la formation. Quelques heures plus tard, la connexion était à nouveau fonctionnelle. Par contre, il n'était plus possible d'accéder à notre serveur HTTP. Toutes les configurations du serveur ont alors été vérifiées, mais sans rien déceler d'anormal. Renseignements pris, l'adresse IP du serveur avait été changée à la suite de la réorganisation des plages d'adresses, lors de l'introduction de l'ADSL.

7.3.3 Installation de moodle

Lors de la phase de développement au laboratoire de l'OT, le module de communication de moodle fonctionnait correctement. Malheureusement, les tests effectués durant la semaine précédant la première formation ne nous ont pas permis de remonter le système sur le terrain. De nombreuses communications par mail avec Genève n'ont pas suffi pour obtenir les réponses nous permettant de résoudre le problème.

Nous avons alors essayé d'étudier le code du module pour comprendre où se situait le problème. Le manque de documentation a rendu cette tâche très difficile, notamment sous la pression de temps. L'utilisation de ce module n'étant nécessaire que pour la deuxième formation, il restait encore deux semaines pour trouver une solution. Malheureusement, la somme de travail journalière nous a difficilement autorisé à nous concentrer sur ce problème. Finalement, nous n'avons pas été à même de résoudre ce problème de communication.

L'alternative est venue de M. Paul Oberson. Il a fourni à chacun des participants un accès à la plate-forme genevoise Petit Bazar⁷⁵. Il a également mis à disposition le portail du secteur formation du SEM, comme espace de stockage. Cette solution est satisfaisante à court terme, mais nécessite d'être modifiée ultérieurement.

⁷⁴ <http://www.afrik.com/article10414.html>

⁷⁵ Petit Bazar est un portail des enseignants de l'école primaire de l'Etat de Genève qui propose des activités pédagogiques. <http://petit-bazar.unige.ch/>

8. Bilan des cours

8.1 Formation en informatique

Les deux premières semaines de formation étaient placées sous la responsabilité du professeur Arturo Montejo Ráez. Ses compétences informatiques lui ont permis d'assurer un cours de très grande qualité, alternant entre la théorie et la pratique. Le professeur Arturo Montejo Ráez a mis beaucoup d'énergie à faire prendre conscience aux participants de la réelle valeur des logiciels libres dans un pays comme le Mali.

« Je fais une copie du CD et je te le donne. Je partage mes connaissances, je te fais bénéficier de mon expérience. Lorsque je partage mes connaissances, nous sommes deux à être plus riches. »

8.1.1 Les participants

Le nombre de place étant limité, le Dr Dominique Hausser avait fixé deux pré-requis pour être admis :

- Avoir déjà utilisé un ordinateur.
- Etre dynamique.

Première surprise, 10 des 42 participants de la première formation étaient des directeurs d'écoles. Cette situation n'était pas souhaitée dans la mesure où nous préférons former des professeurs susceptibles de transférer leur savoir aux élèves. Pourtant, ce qui semblait à l'origine comme un inconvénient s'est transformé en avantage. Le fait de rallier les directeurs d'écoles au projet conduit à mettre une grande pression sur les autorités maliennes. Ils ont vu les ordinateurs et ils les ont utilisés. Après ça, il n'attendent qu'une chose, c'est que les machines leur soient livrées.

Deuxième surprise, la plupart des apprenants étaient loin d'être aussi jeunes que ce que nous aurions souhaité. Fort heureusement, les candidats étaient très dynamiques et curieux.

Troisième surprise, pratiquement aucun apprenant n'avait jamais utilisé d'ordinateur. Cette perspective nous a causé beaucoup d'inquiétudes, car la formation n'était pas destiné à des débutants. Le cours a donc dû être légèrement adapté, pour mieux correspondre au niveau des participants. Il est, par exemple, très difficile d'expliquer les avantages du partitionnement à quelqu'un qui ne sait pas utiliser une souris. Dans de telles conditions, un professeur et 4 assistants représentent peu de ressources pour 42 personnes, méritant chacune d'elle une attention particulière.

8.2 Difficultés rencontrées durant la formation

Étant donné que les participants suivant notre formation étaient tous des professeurs, des maîtres ou des directeurs d'école, il était exclu d'utiliser le terme *élève* pour les qualifier. Nous avons été mis en garde que cela serait mal pris. Nous avons donc adopté le terme *apprenant*.

Le Mali est un pays majoritairement musulman. Au début de chacune des deux formations, la question a été posée concernant l'intégration de la prière dans le rythme des cours. Bien qu'il soit normal de prendre en compte les différences culturelles, la réponse qui a été donnée est la suivante : tous les formateurs viennent d'un pays laïque, la prière ne fait pas partie de la formation. Mais chacun est libre d'accomplir ses devoirs durant les pauses. Cette réponse a semblé contenter tout le monde.

L'état malien payait à chaque apprenant un per diem de 4000 francs CFA⁷⁶ par jour de formation. Normalement, ce dédommagement devait être payé en fin de formation. Malheureusement, il s'est avéré que l'argent venait à manquer et que l'état malien a décidé de privilégier le paiement des salaires plutôt que celui des per diem. Certains participants ont alors menacé de quitter le cours. La tension était palpable parmi eux. Finalement, après plusieurs négociations, un arrangement a été trouvé et tous les participants ont terminé la formation.

Une habitude culturelle consiste à appeler les gens en claquant des doigts, ce qui est plutôt mal perçu en Suisse. Il ne faut pas se formaliser, mais leur expliquer qu'il serait préférable de vous appeler par votre prénom.

8.3 Terrain privilégié

La plupart des participants n'avaient aucune connaissance informatique avant la formation. N'ayant pas été influencé par un autre système d'exploitation, il n'est pas nécessaire de faire perdre les "mauvaises habitudes" de l'utilisateur. Linux a la réputation d'être plus difficile à utiliser que Windows, mais ce n'est pas le cas. Les deux systèmes sont simplement différents. Les personnes ayant une grande expérience de Windows ont tendance à trouver Linux compliqué, car elles perdent leurs repères. Des études ont montré que pour un véritable débutant, il n'était pas plus difficile de s'approprier un système d'exploitation de type Linux, qu'un système d'exploitation de type Windows⁷⁷.

⁷⁶ Cette somme correspond à environ 10 francs suisses.

⁷⁷ <http://www.framasoft.net/article2605.html>
<http://www.zdnet.fr/actualites/informatique/0,39040745,39216210,00.htm>
http://www.linux-usability.de/download/linux_usability_report_en.pdf

8.4 Cours VPN

Durant la première formation, j'ai eu l'occasion d'expliquer aux participants le fonctionnement du VPN.

La première partie de mon exposé a consisté à rappeler le fonctionnement d'Internet aux participants. Puis, nous avons revus les concepts des réseaux locaux et du NAT. Ensuite, je leur ai expliqué le concept du VPN et pourquoi nous en avons besoin dans le cadre du projet. A la suite de quoi, chaque groupe est reparti vers son serveur pour mettre en pratique les concepts théoriques. Finalement, à l'aide de la documentation, tous les groupes ont réussi à monter leur tunnel.

La méthode pédagogique adoptée consistait à poser une question aux participants, leur demander de proposer une solution, de la débattre et finalement de leur proposer une solution. J'ai trouvé des gens attentifs, très impliqués et participant volontiers au débat, chacun menant sa propre réflexion et tentant de la formaliser. Leur capacité d'apprentissage est absolument étonnante. Rencontrer quelqu'un qui n'a jamais vu un ordinateur de sa vie et qui est capable au bout de quelques jours de venir expliquer le fonctionnement du NAT est vraiment époustoufflant.



Illustration 4: Photo de groupe avec les participants

9. Évolution

9.1 *Développement*

Dans un premier temps, il est très important de faire en sorte que les 13 premiers cyber espaces continuent de fonctionner correctement. Il ne faut pas oublier que ces écoles constituent un test grandeur nature pour les maliens. De plus, il est capital d'assurer le suivi des formations au niveau local, sans quoi la capitalisation des connaissances va se perdre.

A moyen terme, il faut améliorer l'outil d'échange entre les enseignants. La plate-forme moodle originalement souhaitée devrait remplacer la solution provisoirement déployée.

A un niveau supérieur, les autorités maliennes doivent organiser un déploiement à large échelle de l'informatisation des structures scolaires du pays, telle que définie dans le document de Politique Nationale et Plan Stratégique National des TIC.

9.2 *Alternatives*

Une alternative à la mise en place d'un projet comme "Cyber Edu" pourrait venir du projet SLIS (Serveur de communication Linux pour l'Internet Scolaire). Le projet SLIS est développé par le CARMI-Internet⁷⁸ de l'Université de Grenoble. Une équipe de techniciens a mis en place un système basé sur les logiciels libres pour la mise en réseau des lycées, des collèges et des écoles de l'académie de Grenoble. Ce projet est assez avancé et propose des fonctionnalités supplémentaires par rapport aux installations que nous avons proposées au Mali. Plus de 760 systèmes de ce type sont déjà en production et de nombreuses institutions sont en cours de migration.

La solution que nous avons proposée répond très bien aux besoins du terrain, mais pour un développement futur, il serait intéressant d'étudier plus en détail l'alternative SLIS.

⁷⁸ <http://www.ac-grenoble.fr/carmii/>

Conclusion

La réduction de la fracture numérique est, à mon sens, une nécessité pour les PVD. Bien que ces pays puissent avoir d'autres priorités que la mise en place d'infrastructures de communication, il ne faut pas sous-estimer l'impact que pourrait avoir l'introduction des nouvelles technologies. Le gouvernement malien a parfaitement compris les enjeux et a adopté des plans stratégiques très clairs afin de résorber cette fracture numérique.

Les coûts engendrés par l'acquisition de matériel informatique représente une charge élevée pour les PVD. Dans ce contexte, les logiciels libres représentent une excellente alternative. Le projet "Cyber Edu" se base sur des technologies libres, permettant ainsi l'accès aux ressources informatiques sans aucun coût supplémentaire. Cette solution a rencontré beaucoup d'enthousiasme de la part des participants. L'avenir nous dira si le choix des logiciels libres était adéquat.

Le projet "Cyber Edu" a toujours été mené dans l'optique de faire le mieux possible compte tenu du contexte. Rétrospectivement, l'approche méthodologique développée dans le cadre de ce projet s'est avérée très efficace. La seule réserve concerne le manque de temps pour la mise en place de la plate-forme de communication moodle. Malgré cela, le bilan après l'installation des deux premiers cyber espaces est très positif. Tout nous laisse croire que la mise en place des prochains cyber espaces sera aussi une réussite.

Le projet "Cyber Edu" n'a pas été bénéfique uniquement pour les maliens. Il représente un énorme gain pour toute l'équipe d'encadrement, notamment du point de vue des connaissances techniques acquises. De plus, le travail effectué au Mali constitue une excellente base pour de futurs projets. En effet, les documents existants peuvent être aisément adaptés à un autre contexte, sachant qu'ils ont été validés par leur application au Mali.

En conclusion, je dirais que le projet "Cyber Edu" est une réussite pour tous les acteurs y ayant participé. Avoir acquis des connaissances techniques avancées et les avoir partagées dans un contexte difficile représente une immense satisfaction personnelle.

Glossaire

AGETIC Abréviatiion de “Agence des Technologies et de l'Information du Mali”. L'AGETIC est l'agence qui veille à mettre en oeuvre la stratégie nationale dans le domaine des TIC.

APT Abréviatiion de “Advanced Packaging Tool”. APT est un gestionnaire de paquets pour la distribution Debian GNU/Linux, Ubuntu, ... avec une gestion des dépendances.

Boot loader Un boot loader est un programme qui permet de choisir entre plusieurs systèmes d'exploitations au démarrage de son ordinateur. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Multiboot>

Licence Creative Commons Les licences Creative Commons constituent un ensemble de licences régissant les conditions de réutilisation et/ou de distribution d'œuvres (notamment d'œuvres multimédias diffusées sur Internet).

Cron Utilitaire des système Unix qui permet aux utilisateurs d'exécuter automatiquement des tâches à une date et une heure spécifiées à l'avance. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Cron>

Dépôt Un dépôt est un endroit ou les données sont stockées et maintenues. Ces données sont accessibles au travers d'un réseau. On y trouve notamment les paquets (.deb) du système d'exploitation Ubuntu.

DHCP Abréviatiion de “Dynamic Host Configuration Protocol”. Le DHCP est un terme anglais désignant un protocole réseau dont le rôle est d'assurer la configuration automatique des paramètres TCP/IP des postes clients, notamment en leur assignant automatiquement une adresse IP et un masque de sous-réseau. DHCP permet aussi configurer l'adresse de la passerelle par défaut et les serveurs de noms DNS.

Distribution Une distribution se compose d'un noyau Linux et d'applications. Les distributions se distinguent les unes des autres par le type de logiciels qu'elles proposent, leur prix et les outils mis à disposition pour gérer et installer le système, etc. <http://doc.ubuntu-fr.org/doc/glossaire>

DNS Abréviatiion de “Domain Name System”. Le DNS est un système permettant d'établir une correspondance entre une adresse IP et un nom de domaine

GRUB Abréviatiion de “Grand Unified Boot Loader”. GRUB est un programme de multiboot, au même titre que LILO, qui permet de choisir au démarrage de son ordinateur entre plusieurs systèmes d'exploitations ou plusieurs noyaux.

Ghost En informatique, Ghost (*General Hardware Oriented System Transfer*) est un logiciel pour cloner un disque dur. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Ghost_\(informatique\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Ghost_(informatique))

Gnome GNOME, acronyme de GNU Network Object Model Environment, est un environnement graphique libre très populaire sur les systèmes GNU/Linux. <http://fr.wikipedia.org/wiki/GNOME>

Howto Le howto (de l'anglais how to = comment faire) est un document décrivant comment faire quelque chose. Il est surtout utilisé sur Linux.

IP Abréviation de "Internet Protocole". IP est un protocole de télécommunications utilisé sur les réseaux qui servent de support à Internet et permettant de découper l'information à transmettre en paquets, d'adresser les différents paquets, de les transporter indépendamment les uns des autres et de recomposer le message initial à l'arrivée.

Kernel Voir noyau.

Linux Linux est le nom du noyau des système d'exploitation GNU/Linux. C'est le coeur du système d'exploitation.

Logiciel Libre Par opposition à logiciel propriétaire ou fermé : logiciels dont le code source est disponible et auxquels il est autorisé d'apporter des modifications. L'expression « logiciel libre » fait référence à la liberté pour les utilisateurs d'exécuter, de copier, de distribuer, d'étudier, de modifier et d'améliorer le logiciel.

Md5 Abréviation de "Message Digest 5". MD5 est une fonction de hachage cryptographique qui permet d'obtenir pour chaque message une empreinte numérique. Cette empreinte peut servir à vérifier l'intégrité d'un téléchargement. <http://fr.wikipedia.org/wiki/MD5>

NAT Abréviation de "Network Address Translation". Le NAT est un mécanisme qui permet de faire correspondre les adresses IP privées d'un domaine à un ensemble d'adresses publiques (routables).

Noyau Élément fondamental d'un système d'exploitation. Le noyau fait la lien entre le matériel et le reste du système.

NTP Abréviation de "Network Time Protocol". NTP est une technique permettant de synchroniser l'horloge d'un système informatique avec un serveur de référence au travers d'un réseau IP.

OT L'Observatoire Technologique est un organe d'état-major rattaché au Centre des Technologies de l'Information (CTI) de l'Etat de Genève, sous la responsabilité de la direction générale, avec priorité d'appuyer la stratégie du canton de Genève. <http://www.geneve.ch/obstech/Organisation/who.html>

Package Voir Paquet.

Paquet Un package est un ensemble d'éléments de programmation (procédures, classes, d'autres paquages...) regroupés afin d'être réutilisés ou de mieux organiser un programme.

Proxy Un serveur proxy ou serveur mandataire est un serveur qui a pour fonction de relayer les requêtes des clients et conserver un cache des réponses. Le proxy remplit diverses fonctions comme le cache, l'enregistrement des requêtes, la sécurité du réseau local, le filtrage ou l'anonymat.

Repository Voir Dépôt.

Root Sur les systèmes d'exploitation de type Unix, root est le nom conventionnel de l'utilisateur qui possède tous les droits et permissions. L'utilisateur root est également connu sous le nom de super-utilisateur. http://fr.wikipedia.org/wiki/Utilisateur_root

Rootkit Un rootkit est un programme permettant à un pirate de maintenir un accès frauduleux sur le système. Ce n'est pas un virus, car il ne se réplique pas.

SMTP Abréviation de "Simple Mail Transfer Protocol". SMTP est un protocole de communication utilisé pour transférer le courrier électronique vers les boîtes de messagerie d'Internet.

SSH Abréviation de "Secure Shell". SSH est à la fois un programme informatique et un protocole de communication sécurisé. Le protocole de connexion impose un échange de clé de chiffrement en début de connexion. Par la suite toutes les trames sont chiffrées. Le protocole SSH a été conçu avec l'objectif de remplacer des programmes tel que rlogin, telnet, rsh, ...

TIC Abréviation de "Technologies de l'Information et de la Communication". Les TIC ou NTIC (Nouvelles technologies de l'information et de la communication) désignent généralement ce qui est relatif à l'informatique connectée à Internet.

VPN Abréviation de "Virtual Private Network". Réseau de données privé utilisant l'infrastructure de télécommunication publique et assurant la confidentialité des échanges au moyen d'un protocole de tunnellation et de diverses procédures de sécurité. www.qosmic.com/lexique.htm

Bibliographie

Accord de Coopération entre la CNUCED, la République et Canton de Genève et le Gouvernement du Mali [en ligne]. 2005.

http://hausser.ch/IMG/pdf/Projet_Cyber_Edu_20060307.pdf (consulté le 11.07.2006)

BOUZERDA, Khaled et SIEVERING, Johann. Concept du module de communication de moodle. *Projet « IGAD & CFEL »* [en ligne]. 2006.

http://hausser.ch/IMG/pdf/PresentationIGAD_CFEL_20060424_ver1.0.pdf

(consulté le 20.07.2006)

BUREGEYA, Jean-Jacques . *Intégration du logiciel libre Ubuntu GNU/Linux au sein d'une administration publique d'un pays en voie de développement*. 2005. 62 p. Travail de diplôme, Informatique de gestion, Haute Ecole de Gestion, Genève, 2005.

BUREGEYA, Jean-Jacques, RUCHAT, Yanik et MONTEJO RAEZ, Arturo. Installing the client [en ligne]. 2005. <http://hausser.ch/Ubuntu/ClientInstallation-HOWTO.html> (consulté le 15.07.2006)

BUREGEYA, Jean-Jacques, RUCHAT, Yanik et MONTEJO RAEZ, Arturo,. Installing the server [en ligne]. 2005. <http://hausser.ch/Ubuntu/ServerInstallation-HOWTO.html> (consulté le 15.07.2006)

FANCELLA, David. Windows ou Linux - Lequel est le plus simple à installer ? In : *Framasoft* [en ligne]. 2004. <http://www.framasoft.net/article2605.html>

(consulté le 10.11.2006)

GUILLEMIN, Christophe. Étude: l'adoption de Linux n'est pas un frein pour les utilisateurs novices. In : *ZDNet.fr* [en ligne]. 2005. <http://www.zdnet.fr/actualites/informatique/0,39040745,39216210,00.htm>

(consulté le 10.11.2006)

HAUSSER, Dominique. Mission au Mali - Rapport de Mission [en ligne]. 2006, 14 p. <http://hausser.ch/IMG/pdf/MaliMissionReport20060201.pdf> (consulté le 11.07.2006)

KOLESNIKOV, Oleg et HATCH, Brian. La mise en en place de tunnels de communication sécuriés avec VTun ou cIpe. *Construire un VPN sous IP avec Linux*. CampusPress. Paris : CampusPress, 2002. 403 p. 2744014346.

Document de Politique Nationale et Plan Stratégique National des Technologies de l'Information et de la Communication, Ministère de la Communication et des nouvelles technologies de la République du Mali. 2006, 85 p.

MACHIN, Stephen, Sandra MCNALLY et SILVA Olmo. *New Technology in Schools: Is There a Payoff?*. 2006. 40 p. IZA DP No. 2234 [en ligne].

<http://ftp.iza.org/dp2234.pdf> (consulté le 11.11.2006)

Nations Unies. Réduire la fracture numérique : rapport de l'UIT [en ligne]. 2006. <http://www.un.org/News/fr-press/docs/2006/dev2588.doc.htm> (consulté le 10.11.2006)

Relevantive AG. *Linux Usability Study*. 2003 87 p. http://www.linux-usability.de/download/linux_usability_report_en.pdf (consulté le 10.11.2006)

SMITH, Roderick W. *LPIC-1 : Linux Professional Institute Certification*. Wiley Publishing. Indianapolis : Sybex, 2005. 612 p. 0-7821-4425-X

WADE, Abdoulaye. Président de la République du Sénégal. Résorber le fracture numérique. In : *Continent Premier Magazine* [en ligne]. 2006. http://www.africatime.com/Mali/nouv_pana.asp?no_nouvelle=288478&no_categorie=3 (consulté le 10.11.2006)

WIKIPEDIA ENCYCLOPÉDIE LIBRE, *Fracture numérique* [en ligne]

http://fr.wikipedia.org/wiki/Fracture_numérique (consulté le 10.11.2006)

WIKIPEDIA ENCYCLOPÉDIE LIBRE, *Rootkit* [en ligne]

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Rootkit> (consulté le 10.11.2006)

WIKIPEDIA ENCYCLOPÉDIE LIBRE, *Société de l'information* [en ligne]

http://fr.wikipedia.org/wiki/Société_de_l'information (consulté le 10.11.2006)

UBUNTU. *Guide pour serveur Ubuntu* [en ligne].

<https://help.ubuntu.com/ubuntu/serverguide/fr/index.html> (consulté le 13.07.2006)

UBUNTU. *Guide du bureau d'Ubuntu* [en ligne].

<https://help.ubuntu.com/ubuntu/desktopguide/fr/index.html> (consulté le 20.07.2006)

Annexe 1

Liste du matériel

Annexe 2

Schéma du laboratoire de l'OT

Annexe 3

Travaux à effectuer par le MEN

Annexe 4

Liste des tâches SCA

Annexe 5

Installation du serveur

Annexe 6

Installation de moodle

Annexe 7

Installation du VPN

Annexe 8

Plan d'adressage

Annexe 9

Création d'un dépôt local

Annexe 10

Script de mise à jour des postes clients

Annexe 11

Structure des disques durs des serveurs

Annexe 12

Installation des postes clients

Annexe 13

Utilisation de partimage

