Rapport de Synthèse
Implémentation de nouvelles fonctionnalités média dans Gecko

Paul ADENOT, <paul@paul.cx>

Entreprise d'accueil :
Mozilla Corporation
650 Castro Street
Suite 300
Mountain View, CA, 94041-2021
USA

Enseignant responsable :
Előd EGYED-ZSIGMOND

Tuteur en entreprise :
Daniel HOLBERT (mentor sur site),
Jet VILLEGAS (manager)

Résumé

La fondation Mozilla est une organisation à but non lucratif qui a pour but de promouvoir un Web ouvert à tous, par l'intermédiaire de son produit phare, le navigateur web Firefox. Durant ce stage, de nouvelles fonctionnalités dans le composant média du logiciel ont été implémentés, ainsi que des optimisation de la vitesse de rendu des documents. Il sera aussi évoqué les processus particuliers de travail que l'entreprise a adopté, ainsi que ses relation avec les organismes de standardisation des normes qui font le web, de nos jour.

Mots-clefs

Mozilla, logiciel libre, média, thread, codec, travail distribué, réechantillonage, time-stretching, type MIME, media query, box blur, dégradé, spécification, Web.

Abstract

The Mozilla Foundation is a non-profit organization whose goal is to promote a open Web, by creating and maintaining its main product, the Firefox web browser. During this internship, new features of the media component of Firefox have been implemented, along with a few optimizations of the rendering speed of documents. There will be mention of the particular processes the organization had to adopt, and its relation to the organizations that write the specifications for the web technologies.

Keywords

Mozilla, free software, media, thread, codec, remote working, resampling, time-stretching, MIME type, media query, box blur, gradient, specification, web.

Table des matières

Première partie

Introduction

J'ai effectué mon stage de fin d'études au sein de l'entreprise Mozilla Coporation, filiale de la Mozilla Foundation, bien connue pour son navigateur Mozilla Firefox.

Mozilla Firefox est un des navigateurs web les plus utilisés (entre 20% et 50% des parts de marchés, selon les pays). De plus, il est le seul contrôlé par une organisation à but non lucratif, ce qui le distingue de ses concurrents.

L'arrivée du nouveau standard HTML5[HTML] a introduit les balises `<audio>` et `<video>` parmi les nouveaux éléments disponibles pour rédiger des pages dans le langage HTML5. Les auteurs de site web commençant à utiliser ces balises de plus en plus, il est donc nécessaire au éditeurs de navigateurs d'implémenter au maximum la spécification HTML5, pour rester compétitif.

Ce stage a principalement consisté à implémenter quelque fonctionnalités de de cette spécification, mais aussi à discuter de la pertinence de cette spécification avec les organismes qui l'éditent, lorsqu'elle ne paraissait pas tout a fait adéquat.

Vers la fin du stage, les tâches qui m'avaient été assignées étant terminées, et voulant découvrir une autre partie du code de Firefox, j'ai commencé, sur une suggestion de mon manager, à écrire du code dans le sous-système `layout` (`layout/`) et rendu graphique (`gfx/`).

Nous commencerons par une bref introduction sur le sous-système média de Firefox. Nous passerons en revue certaines des fonctionnalités implémentés, en détaillant les points intéressant de chacune, pour finir sur un bilan des processus utilisés pour travailler au sein du projet.

Deuxième partie

Contexte

1 Vue d'ensemble du sous-sytème média

La plus grande partie du stage à été passé dans cette partie du code, que l'on retrouve dans les dossiers `content/media`, `content/html/content/` et `media/` de `mozilla-central`, le dépôt dans lequel se trouve le code source pour Firefox. En plus des fonctionnalités présentés dans la seconde partie, bon nombre d'autre patches ont été écris, parce qu'il corrigeaient un bug qui « bloquait »un autre patch, ou encore pour ajouter des fonctionnalités qui étaient d'un moins grand intérêt pour ce rapport.

L'arrivée de la lecture de média dans Gecko (le nom du moteur de rendu dans le logiciel Firefox) date de 2009, avec la sortie de Firefox 3.5. Cette partie du code est est relativement complexe, puisque complètement asynchrone. Ce choix technique est nécessaire, puisque les différentes partie de la lecture d'un média (qu'il soit audio ou vidéo) peuvent provoquer des opérations bloquantes. Il est bien entendu inacceptable de bloquer le thread principal de l'application (qui rend l'interface graphique et gère les interactions utilisateurs) lorsque le programme est en train de lire dans une *socket* pour recevoir un média ou dans le cache disque pour récupérer une vidéo pour la décoder. De la même manière, il serait malheureux d'avoir des pauses dans la lecture d'une chanson parce que le thread principal est surchargé (par exemple, en train d'exécuter du code Javascript).

Cela rend le code assez complexe a la lecture : là où pour du code synchrone, il suffit de lire linéairement, il faudra garder à l'esprit l'état du programme, les différentes possibilités d'exécution, et sauter de fonction en fonction et de fichier en fichier pour comprendre du code asynchrone. Cette partie du logiciel totalise environ 30000 lignes de code, plus bon nombre de bibliothèques externes écrite ou non dans le cadre du projet Mozilla.

Ci dessous, une présentation rapide de l'architecture de cette partie du code, par classe. Un diagramme de classes de haut niveau est disponible a la fin ce cette partie.

Le `nsHTMLMediaElement` est la classe qui gère les éléments `<audio>` et `<video>` dans Gecko. Elle fonctionne sur le thread principal et gère l'interaction avec Javascript.

Le `nsBuiltinDecoder` contient un cliché, a un instant t du décodeur sous-jacent, disponible sur le thread principal. Les décodeurs n'étant pas sur le thread principal, cela permet à du code Javascript et à l'interface utilisateur d'avoir de nouvelles informations sans bloquer.

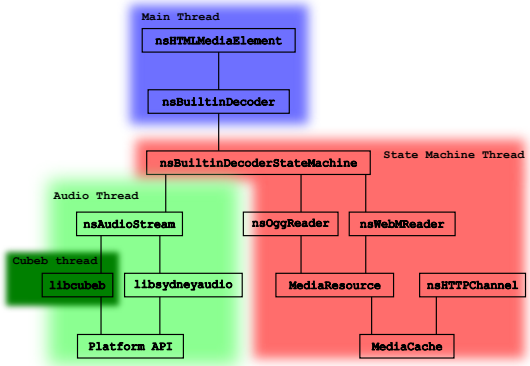
La classes `nsBuiltinDecoderStateMachine` orchestre la décompression des média, la machine à états pour la lecture, l'envoie de buffer audio vers du code spécifique à chaque plateforme pour la lecture (*platform audio backend*), l'enfilage des images des vidéo dans des *media queues*, la synchronisation audio/video, et la logique de `buffering`. Cette classe fonctionne sur un thread partagé par toutes les instances d'éléments `<audio>` et `<video>`.

Les classes `ns*Reader` implémentent la glue avec les bibliothèques spécifiques de décompression (`libvorbis`, `libtheora`, `libvpx`, etc.). Si l'on veut que Gecko puisse lire un nouveau codec, il suffirat donc d'implémenter une nouvelle classe de type `ns*Reader`, et d'ajouter quelque ligne à d'autre endroit du module.

La classe `nsAudioStream` gère la lecture audio. Elle encapsule deux bibliothèques, `libsydneyaudio` et `libcubeb`, qui permettent toutes deux de jouer du son de manière multi-plateforme (Windows, MacOS, Linux Pulseaudio et ALSA, Android, *BSD, Boot to Gecko). Gecko est actuellement en train d'effectuer la transition de la première bibliothèque vers la seconde.

La classe `MediaResource` abstrait le mode de transport du fichier, et fourni la même API à l'utilisateur, que le fichier provienne du disque dur, d'un site internet, ou du cache disque. C'est là que se fait l'intégration avec la pile réseau du navigateur (appelée *Necko*).

La classe `nsMediaCache` gère un cache disque, de taille fixe, qui permet de rejouer un média sans avoir besoin de faire appel au réseau. Le cache est détruit lors de la fermeture de Firefox, et la clé pour chaque entrée est l'URL du média.



Synthèse technique

2 Proprieté `playbackRate` des éléments `<audio>` et `<video>`

Une des propriétés des éléments média que spécifie HTML5 est de pouvoir en changer la vitesse de lecture. Cela se fait au travers de la propriété `playbackRate`, accessible en Javascript dans une page web. Comme son nom l'indique, si un auteur assigne la valeur 0.5 à cet attribut, le média devrait jouer deux fois plus lentement, et deux fois plus rapidement si à l'inverse il lui affecte la valeur 2.0.

Changer la vitesse de lecteur d'une vidéo qui n'a pas de piste audio n'est pas très compliqué : il suffit de changer la vitesse à laquelle on donne de nouvelles images depuis le décodeur au moteur de rendu, en prenant bien garde à en informer tous les composants : horloge média, compensée avec la vitesse de lecture, logique de téléchargement et de décodage, pour éviter de se retrouver avec un surplus ou manque d'images à afficher.

Par contre, tout se complique lorsque le média dispose d'une piste audio. Il faut alors effectuer une étape de rééchantillonnage (*resampling*). Ce procédé permet changer, comme son nom l'indique, la fréquence d'échantillonnage d'une piste audio numérisée. Si l'on double la fréquence d'échantillonnage (par exemple de 48000Hz vers 96000Hz), mais que l'on continue à jouer le média a 44100Hz, on aura donc un ralentissement d'un facteur deux.

Le composant de rééchantillonnage du codec voix Speex a été utilisé dans un premier temps pour effectuer cette tâche. Cependant, on observe qu'une division par deux en fréquence d'échantillonnage a pour effet de bord de transposer la piste audio une octave plus grave. Une seconde bibliothèque, SoundTouch, a été utilisé, à la place, pour profiter d'un effet appelé *time-stretching*, qui consiste à change la vitesse d'une piste audio, sans en changer la hauteur.

Ces deux bibliothèques, de licence compatibles avec celle de Firefox, et multi-plateforme, ont été intégré dans le dépôt principal du projet (`mozilla-central`).

La principale difficulté dans cette fonctionnalité aura été qu'elle aura nécessité des modifications à tous les niveaux du sous-sytème média. De plus, une grande partie du temps a été utilisé pour trouver la bonne manière de permettre à l'utilisateur de changer la vitesse de lecture de manière dynamique lorsque le média est en train de jouer. Cela a nécessité la mise en place de mécanisme de compensation de latence relativement complexes.

3 Attribut `media` de la balise `<source>`

Les balises `<source>`, placées à l'intérieur d'une balise `<audio>` ou `<video>`, permettent de spécifier différent média disponible, que le navigateur pourra choisir, en fonction des codecs lisible par ce navigateur, mais aussi de la résolution de ce qu'on appelle une *media query*, avec l'attribut `media` implémenté durant ce stage.

Une *media query* est une expression s'évaluant en un booléen, qui, placées dans une feuille de style CSS, permet de restreindre certaines règles a un certain type de média (ici, média au sens de *support*) :

```
/* Cette portion de la feuille de style met le texte en
rouge sur des périphériques ayant une largeur de plus de
500px */
@media (min-width:500px)  color: red;
/* Cette portion s'applique lorsque l'utilisateur tient
son périphérique en mode portait, et restreint la largeur
du texte a 80% de la largeur disponible: */
@media (orientation:portrait)  width: 80%;
```

L'idée est donc de pouvoir sélectionner une certaine `<source>` en fonction du type d'appareil que l'utilisateur utilise pour rendre un certain média. En effet, visionner une vidéo 1080p sur une smartphone vertical disposant d'une largeur de 500 pixels est un gâchis de bande passante, et de batterie, puisque le périphérique doit d'abord décoder une vidéo haute définition, puis ensuite la ré-échantillonner pour l'adapter a la taille de l'écran, ce qui augmente grandement la quantité de calculs à effectuer, et donc la consommation d'énergie. La première `<source>` qui à une *media query* évaluée à vrai (ou qui n'a pas de *media query*) sera sélectionnée, sous réserve que le navigateur puisse décoder le codec dans laquelle il est encodé.

```
<video controls preload=metadata>
<source src="lapin-sd.webm" media="max-width: 500px">
<source src="lapin-hd.webm">
<source src="lapin-sd.mp4" media="max-width: 500px">
<source src="lapin-hd.mp4">
</video>
```

La majorité du code (parseur et résolveur de règle `media`) est en fait appelé directement depuis le code qui gère le CSS.

4 Détection de type MIME par reniflage

Les types MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions), étaient à l'origine est type spécifiant le type des contenu envoyés par email. De nos jours, ils sont envoyés avec la réponse à une requête HTTP pour indiquer le type selon lequel le navigateur devra interpréter la ressource. Par exemple, une page HTML classique est de type `text/html` et une feuille de style CSS `text/css`. Dans Gecko, et plus particulièrement dans le code des balises média, ces types MIME sont utilisés pour savoir quel décodeur instancier, en fonction du type du fichier. Gecko supporte les types suivants :

- `audio/ogg`, `video/ogg` pour les contenus audio et video encapsulés dans un conteneur OGG contenant les codecs libres Vorbis, Theora ou Opus.
- `audio/webm` ou `video/webm` pour les contenus audio et video encapsulés dans un conteneur WebM, contenant du VP8 (vidéo) et du Vorbis (audio).
- `audio/wav` pour un fichier audio Wave, donc simplement des donnés audio brutes, non compressées.
- `video/mp4` pour un fichier dans un conteneur mp4, contenant du H.264 (vidéo) et de l'AAC (audio) (uniquement si certaines option de compilation sont activées, puisque ces codecs ne sont pas libres, et ne peuvent donc pas être inclus dans une version grand public de Firefox).

Si aucun type MIME n'est envoyé dans les en-têtes de la réponse à la requête HTTP envoyée par le navigateur, ou s'il est erroné, le média ne pourra pas être décodé correctement, et par conséquent ne pourra pas être lu par le navigateur. Certain très gros service d'hébergement de donnée (Amazon S3, par exemple) n'envoyaient pas, pendant un temps, ce type MIME, rendant illisible les média provenant de ce fournisseur dans Firefox.

La solution, en plus de communiquer sur la nécessité d'envoyer un MIME type correct avec une réponse HTTP, est de tenter de déterminer le type du fichier en regardant son contenu, après en avoir téléchargé le début. Cette technique est appelée *binary sniffing*.

Techniquement, il aura fallu créer un composant capable d'être appelé par la couche réseau de Firefox (appelée `necko`, et située dans le dossier `netwert/` (sic)), et à qui est envoyé les 512 premier octets du fichier, si le type MIME n'est pas connu.

On applique a ces 512 premier octets un traitement (souvent à base de ET binaire et de masque), pour déterminer son type. Ainsi, on obtient la table suivante :

Premiers octets	Masque	Type
`OggS0`	`0xffffffff`	Ogg
`RIFF0000WAVE`	`0xffffffff00000000ffffffff`	Wave
`0x1a45dfa3`	`0xffffffff`	WebM
`ID3`	`0xffffff`	MP3

En masquant les n premiers octets du fichier avec le masque et en les comparant avec ceux spécifiés, il est donc possible de déterminer le type du média, d'instancier le bon décodeur, et donc de pouvoir présenter le média à l'utilisateur. Cette technique est spécifié dans un document du WhatWG [Sniff]. L'implémentation de Gecko prend en charge plus de type de média que la spécification, qu'il faudra probablement mettre à jour pour refléter les nouveaux type de fichier lisible dans les navigateurs.

5 Mise en cache du dessin des dégradés

Lorsqu'un développeur web veut dessiner un dégradé dans une page HTML, il doit le spécifier en CSS en utilisant une syntaxe particulière :

```
/* Dégradé linéaire à 45 degrés du bleu au rouge. */
background: linear-gradient( 45deg, blue, red );
/* Un dégradé d'en bas à droite en haut à gauche,
du bleu au rouge. */
linear-gradient(to left top, blue, red);
```

Lorsque le moteur de rendu voit une de ces règle, il doit calculer le dégradé qui devra être affiché, en fonction des différents *stops*, directions et couleurs, et de la taille du dégradé lui même. Ce calcul (principalement des calculs d'interpolation) est re-effectué à chaque fois que le dégradé doit être affiché par le navigateur. Cependant, on remarque assez rapidement que le résultat de ce calcul pourrait être stocké et réutilisé : le dégradé présent sur un onglet de Firefox ne devrait pas être recalculé tout le temps : il est le même pour tout la durée de vie de l'application. De même, les dégradés revenant souvent dans une page Web devraient être cachés, et non pas recalculés à chaque fois qu'un utilisateur effectue un défilement sur la page.

Dans Gecko, les dégradés sont rendus par Cairo, bibliothèque de dessin multi-plateforme, qui abstrait les opérations de dessin à des solutions spécifiques à la plateforme : GDI+ (logicielle) ou Direct2D (accéléré matériellement) sur Windows, Quartz sur MacOS, Xlib pour Linux, GL, etc.

Lorsque le dessin est fait de manière logicielle, par le CPU, le temps pour peindre la surface est vraiment plus

important que le temps utilisé pour calculer les dégradés. Cependant, avec l'arrivée dans les navigateurs de l'accélération matérielle, une opération de ce type prend tout son sens : le dessin du dégradé est fait par le GPU, ce qui fait que le calcul du dégradé sur le CPU devient l'opération la plus longue que ce composant matériel doit effectuer.

Techniquement, il aura suffit d'avoir une table de hachage, avec la spécification du dégradé et sa taille en clée, et le résultat du calcul en valeur. La politique d'éviction du cache est basé sur la durée : si telle entrée n'a pas été utilisé depuis n secondes, on la retire du cache.

Trouver une bonne valeur pour n a été fait de manière empirique. On utilise pour cela le composant *Telemetry* de Firefox, permettant, sur accord de l'utilisateur, de renvoyer a Mozilla des données anonymisées.

En donnant à n une valeur aléatoire, et en mesurant le temps de rendu des dégradé, tout en renvoyant ces deux valeurs, il sera possible de déterminer une bonne valeur pour ce n. Ceci est un projet en cours, et était catégorisé au plus haut degré de priorité dans le projet Snappy, visant à améliorer les performances de Firefox.

6 Optimisation des routines de flou pour dessiner les ombres

Une autre propriété apparue assez récemment dans les navigateurs est la possibilité de spécifier un flou sur du texte ou une boite (`<div>`, `<span>`, etc.). En CSS, on spécifie une ombre de la manière suivante :

```
/* Texte avec une ombre noire décalé de 4px
en abscisse par 4px en ordonnée, avec 2px de flou. */
text-shadow: 4px 4px 2px black;
/* Boite avec une ombre rouge de 2px par 3px
avec un flou de 4px. */
box-shadow: 2px 3px 4px rgba(255, 0, 0, 1.0);
```

Une ombre se dessine en deux partie : premièrement, on copie l'objet et on le décale de la distance spécifiée, puis on le floute. La première partie de résume à faire un appel à la fonction `memcpy`. La seconde est plus technique. Le standard dit :

> A non-zero blur distance indicates that the resulting shadow should be blurred, such as by a Gaussian filter. The exact algorithm is not defined ; however the resulting shadow must approximate (with each pixel being within 5% of its expected value) the image that would be generated by applying to the shadow a Gaussian blur with a standard deviation equal to half the blur radius.

Le standard donne donc au concepteurs de moteurs de rendu une certaine latitude quant à la technique à utiliser pour calculer le flou, tant qu'elle est de qualité suffisante. En pratique, si on lit le code des moteurs de rendu open-source (Gecko pour Firefox, Webkit pour Chrome, Safari), un algorithme appelé *box blur* est utilisé. Il approxime à 3% près une flou gaussien.

L'implémentation de Gecko était trop lente : le défilement de pages contenant beaucoup d'ombres était saccadé sur des machines même relativement récentes. En extrayant l'algorithme de Gecko et en l'analysant a l'aide d'outils de *profiling* tels que `valgrind` (simulateur de CPU x86), `cachegrind` (analyseur permettant de déterminer le taux de défaut de cache) et `gprof` (profiler classique). Cela a permis de localiser les points faibles de l'algorithme, et d'en réécrire une version environ deux fois plus rapide, en étudiant les accès mémoires nécessaires, et les optimisations que peuvent faire les compilateurs. Une méthode de mesure de performance basée sur des données quantitative a été mise en place, ce qui a permis de justifier certains choix faits, pas forcements évidents, mais qui, du fait des optimisations que peuvent faire les processeur récent x86 et ARM (*cache line prefetching*, *stride prediction*, *write-combining*, prise en compte du *pipelining*, etc.), résultaient en de meilleurs performances.

D'autre optimisations seront possibles dans le future si besoin : utilisation de SSE et de NEON, jeux d'instructions vectoriels sur x86 et ARM, mise en cache des dessins des flous, copie de zone du flou au lieu d'effectuer un recalcul (lorsqu'on remarque que lors d'un `box-shadow`, la plupart des lignes et des colonnes peuvent n'être calculés qu'une fois puis copiés).

Troisième partie

Synthèse au niveau processus

Comme dans la plupart des organisations, Mozilla a une série de processus pour structurer le développement de ses produits. Par contre, s'agissant d'un projet open-source, n'importe qui en dehors de l'entreprise a la possibilité de contribuer, ce qui nécessite une adaptation des processus classiques que l'on trouve en entreprise.

7 Vie d'une fonctionnalité dans Gecko

Le développement d'une fonctionnalité chez Mozilla se fait en plusieurs étape :

1. Tout d'abord, il s'agit de trouver une fonctionnalité a implémenter. Direction le bug tracker, où sont listés tous les *bugs* (terme générique) qu'il faudrait idéalement résoudre, à l'adresse `http://bugzilla.mozilla.com`. Bien entendu, créer des bon rapports de bugs est aussi important. Parfois un manager ou un personne ayant une vision plus globale du pro-

jet peux indiquer une partie du code sur laquelle se concentrer.

2. Ensuite, après s'être *assigné* au bug, on peut commencer à regarder comment le résoudre. Pour cela, lire le code existant, poser des questions sur IRC, trouver de la documentation, parler à des collègues si l'on a la chance de se trouver au même endroit qu'eux, sont autant de moyen de commencer.
3. Lorsque qu'on a une solution d'une qualité que l'on pense suffisante, il s'agit d'écrire un test pour cette nouvelle fonctionnalité, ou, le cas échéant, de modifier les tests existants pour refléter un éventuel changement de comportement. Bien souvent, tester sur mobile et sur Boot to Gecko (l'OS de téléphone en développement de Mozilla) se révèle une bonne idée, nombre de problèmes pouvant survenir sur une autre architecture (ARM), et sur des machines disposant de moins de puissance de calcul et de mémoire.
4. Une bonne pratique est d'envoyer le patch sur des serveurs de tests (try servers), qui feront passer les tests sur toutes les plateformes automatiquement.
5. Lorsque les tests passent (ou après les éventuels ajustement nécessaire pour qu'ils passent), le patch peut être attaché au bug. Il faut dès alors désigner une personne pour effectuer une revue de code. Il est à peut près impossible d'envoyer du code n'étant pas trivial (enlever un espace a la fin d'une ligne, corriger une faute d'orthographe dans une commentaire) sans avoir une revue.
6. Bien souvent, la revue sera négative la première fois, et il s'agira de modifier le patch selon les commentaires, s'assurer que les tests passent et que la fonctionnalité marche toujours, et redemander la revue, jusqu'à avoir une réponse positive.
7. À partir de ce moment la, on peut envoyer le patch sur le dépot (`mozilla-central`), ou demander à quelqu'un de le faire à notre place. Si la nouvelle fonctionnalité ne cause pas de problèmes, elle restera, sinon, le patch sera *backed out* (un patch consistant en l'inverse du premier patch sera appliqué au dépot, pour le restaurer dans l'état pré-patch), et il faudra recommencer le processus.
8. Le bug passe dès alors en état `RESOLVED FIXED`, et on peut recommencer toutes les étapes avec une autre fonctionnalité.

8 Environnement de travail

Mozilla est une organisation internationale, complètement ouverte sur l'extérieur. Bon nombre d'employés ne travaillent pas depuis un bureau, mais depuis chez eux. Certain *module owners* ou *module peers* ne sont même pas employés pas Mozilla, mais de simple contributeurs.

Cet environnement particulier a des avantages comme des inconvénients : Mozilla peut se permettre de recruter les meilleurs ingénieurs, sans se soucier du fait qu'ils n'habitent pas à proximité d'un bureau. En revanche, aucune personne dans le bureau depuis lequel je travaillais ne travaillais sur la même chose que moi. La plupart des personnes travaillant sur le code média de Firefox vivant en Nouvelle-Zélande, les communications se faisaient de manière asynchrone (email, bug tracker, etc.), et rarement de manière synchrone. Cependant, une *work-week* à Toronto au milieu du stage m'aura permis de rencontrer la majorité des personnes avec qui je travaillais tous les jours, sans jamais les avoir vu. Bien qu'un grande autonomie soit nécessaire pour travailler de la sorte, ce mode travail a des bénéfice : on peut choisir de ne pouvoir être interrompu, ou plutôt de se concentrer, en fermant IRC et son client mail, par exemple.

Cependant, ayant effectué mon PPH[PPH] sur ce sujet précis, il serait inutile de se répéter ici dans un format beaucoup trop court pour explorer ce vaste sujet, je vous invite donc à consulter ce document (disponible dans la bibliographie) si le sujet vous intéresse.

Quatrième partie

Bilan

Ce projet de fin d'étude s'est extrêmement bien passé, et je pense qu'il a été une réussite a plusieurs point de vue :

- Sur un plan technique, le niveau de qualité et la complexité du code ont été un défi de tous les jours, et j'ai énormément appris, travaillant au jour le jour avec des ingénieurs de très haut niveau de compétence. Les fonctionnalités que j'ai écrites sont aujourd'hui utilisés par environ 400 millions de personnes.
- Sur un plan humain, devoir communiquer avec un nombre important de personnes venant d'entreprises différentes, ayant une culture différente, employés ou bénévole a été une bonne opportunité d'améliorer mes compétences en manière de communication, principalement à l'écrit, mais aussi à l'oral pendant la *work week*.

Remerciements Chez Mozilla, je tiens à remercier Jet Villegas et Daniel Holbert, respectivement mon manager et mon mentor sur site, ainsi que tout l'équipe média (Chris Pearce, Matthew Gregan, Chris Double, Robert O'Callahan, Ralph Giles, Tim Terriberry, probablement beaucoup d'autre que j'oublie), ainsi que toutes les personnes avec qui j'ai interagi, me prodiguant conseils après conseils, et effectuant de nombreuses revues de code avec lesquelles j'ai énormément appris. Merci aussi à l'équipe *internship* et à tous les stagiaires de Mozilla à Mountain View cet été.

Je tiens a remercier aussi l'équipe de l'INSA de Lyon, Előd EGYED-ZSIGMOND, le service des stages, qui m'ont permis de faire ce stage.

Références

[HTML] Ian Hickson. HTML. http://whatwg.org/html. [Online ; accessed 04-September-2012].

[PPH] Paul Adenot. Problématiques liées au travail en équipes distribuées géographiquement. http://paul.cx/public/ManagementDistribue.pdf.

[Sniff] Ian Hickson Adam Barth. MIME sniffing. http://mimesniff.spec.whatwg.org/. [Online ; accessed 05-September-2012].