

Chapitre IV

Projets de recherche et conclusions

IV.1 Introduction

Ce chapitre présente une récapitulation des activités décrites précédemment et trace les grandes lignes des recherches futures.

IV.2 Récapitulation des activités antérieures

Dans les chapitres précédents, nous avons présenté notre contribution aux plusieurs domaines de recherche : la modélisation, les mesures, la conception et la construction des systèmes répartis. La démarche scientifique a été chaque fois différente. L'évaluation des performances permet d'avoir l'approche la plus rigoureuse, parce que ce domaine est fondé sur la théorie des files d'attente. Le travail expérimental de conception et de construction des systèmes répartis ne repose pas sur des bases aussi solides. Néanmoins, il nécessite une analyse du problème, un choix de conception, une comparaison des solutions et une évaluation finale qui permettent d'obtenir des résultats significatifs. L'étape d'évaluation est la plus délicate parce qu'il n'y a pas de critères tranchants qui permettent de juger un travail expérimental. On ne peut que donner des indications sur l'efficacité ou l'utilité d'un mécanisme. Un travail expérimental est parfois ingrat – un développement peut demander beaucoup de temps et d'effort pour peu de résultats. Il est donc important de chercher des problèmes nouveaux et des solutions originales qui sont éléments nécessaires pour obtenir de bons résultats.

Notre expérience permet de tirer quelques enseignements. D'abord, il faut constater que la modélisation est un outil d'ingénieur indispensable pour la phase de conception. Elle permet d'analyser un problème avant le stade d'implémentation. Néanmoins, elle devra être validée par une simulation ou des mesures d'un prototype.

Dans le domaine de l'évaluation des performances, le travail qui nous a donné le plus de satisfaction a été l'estimation du temps global. C'est une méthode originale qui a engendré d'autres recherches et qui apporte une solution à un problème difficile.

Le travail dans Guide a eu les avantages et les inconvénients d'un grand projet à facettes multiples. Les avantages résident dans la possibilité de développer un prototype complexe et opérationnel qui peut devenir un produit industriel. Le travail d'équipe est un autre avantage parce qu'il permet de s'enrichir mutuellement et de progresser plus rapidement. Un grand projet a aussi des inconvénients. Ainsi, certaines parties doivent être réalisées même si elles ne sont pas intéressantes au point de vue de la recherche. De même, on subit parfois les conséquences des choix de conception qui sont faits par les autres et que l'on ne peut pas changer. Les contraintes d'implémentation peuvent également empêcher de creuser un thème, même s'il peut paraître intéressant pour la recherche. Avec le recul, le travail sur l'exécution répartie et la communication dans Guide-1 nous paraît le plus intéressant. Le travail sur les groupes d'objets et l'administration des sites a été interrompu par le départ au MIT.

Le nouveau domaine que nous avons approché au MIT nous a donné beaucoup de satisfaction. Pendant un temps relativement court de un an et demi, nous avons obtenu des résultats encourageants dans deux projets – le routage par contenu et la vidéo algébrique. C'était aussi l'occasion d'élargir nos horizons et de participer à la naissance d'un nouveau domaine, celui des autoroutes de l'information. Ce séjour nous a donné beaucoup d'idées nouvelles pour la suite qui sont présentées ci-dessous.

IV.3 Projets de recherche

Suite aux travaux effectués au MIT et présentés dans le chapitre précédent, nous sommes en train de définir une action portant sur le multimédia réparti sur réseaux qui s'insère dans le projet Sirac. Cette action concerne le développement de l'infrastructure de l'information pour les réseaux futurs et vise à concevoir et à développer des services communs et des outils pour faciliter le développement des applications multimédia réparties sur réseaux. En particulier, ce projet vise à établir une base pour le support et le développement des applications multimédia intégrées et accessibles à distance.

Avant de présenter les grandes lignes de cette action, nous allons discuter les motivations qui mènent à la définition de cette action et les problèmes principaux qui apparaissent dans le domaine.

IV.3.1 Motivations

Notre analyse du phénomène des autoroutes de l'information montre que nous avons besoin de nouveaux outils et services qui facilitent l'accès à l'information multimédia sur réseaux. L'étude des systèmes et des services multimédia est un domaine de recherche novateur qui est actuellement en plein essor suite à l'émergence

des nouvelles technologies et applications. Ces systèmes et services intègrent différentes formes de données : texte, son, images, vidéo et permettent de les manipuler, de les stocker et de les présenter d'une façon uniforme. Néanmoins, les recherches à ce jour se sont focalisées sur les problèmes spécifiques qui sont des éléments nécessaires, mais pas suffisants, à une solution qui intègre et unifie tous les composants pour répondre aux besoins des utilisateurs. On attache par exemple beaucoup d'importance aux problèmes suivants : les réseaux à haut débit, les protocoles garantissant la qualité de service, la synchronisation des média, les algorithmes de compression et le support système pour multimédia. En revanche, très peu de projets offrent à des utilisateurs des moyens avancés d'accès à distance aux présentations multimédia. Et pourtant de nouvelles applications apparaissent qui ont besoin de telles facilités d'accès. Par exemple, on veut accéder à distance à une présentation multimédia non-répartie ou à un serveur équipé d'un matériel spécialisé. Presque toutes les applications nouvelles sur les autoroutes de l'information présentées précédemment nécessitent des moyens d'accès à distance. Un autre facteur est également l'émergence de nouvelles technologies – les réseaux à haut débit et le support système pour des nouveaux media comme la vidéo engendrent les besoins de moyens d'accès variés et efficaces à l'information multimédia.

IV.3.2 Problèmes de recherche

Avant de décrire nos projets, nous allons présenter des problèmes de recherche nouveaux qui apparaissent dans le domaine du multimédia réparti sur réseaux (on peut voir aussi [Furht 94], [Duda 94]).

Nature du multimédia

La nature des données multimédia est très différente de celle des données qui sont habituellement traitées par ordinateur :

volume

les données multimédia peuvent être volumineuses, par exemple, une séquence de vidéo numérique de bonne qualité nécessite environ 1.6 Goctets d'espace de stockage et un débit de 27 Moctets/s.

variété

les données multimédia sont constituées d'éléments de caractères différents : de gros objets binaires (qui représentent un médium comme par exemple des images ou des échantillons du son), et de composants de taille faible (qui intègrent et structurent des média comme par exemple le composant *movie* de *QuickTime* [QuickTime 91]).

structure

l'intégration de différents média crée des structures complexes comportant de relations variées entre composants, par exemple d'imbrication, de positionnement spatial ou d'ordre temporel.

espace

chaque élément du multimédia doit être positionné dans l'espace, par exemple, dans des fenêtres sur l'écran d'une station de travail à un instant donné.

temps

l'aspect temporel est un trait distinctif du multimédia par rapport aux données traditionnelles parce que le multimédia intègre des données qui dépendent du temps. Les relations temporelles entre média peuvent être implicites, par exemple déterminées par l'enregistrement simultané de la vidéo et du son. Elles peuvent être aussi exprimées explicitement comme c'est le cas de documents multimédia qui contiennent du texte annoté par le son.

synchronisation

la présentation simultanée des média repose sur la synchronisation de leurs composants qui doivent être joués à des instants bien déterminés.

continuité

chaque médium doit être présenté à un certain rythme qui est dicté soit par l'utilisateur, soit par défaut, selon le rythme de l'enregistrement.

durée

chaque séquence élémentaire de média dure un certain temps ("*media occupies time*").

contenu

le contenu du multimédia est difficile à identifier et à indexer.

Support système

À cause de la nature du multimédia, ce type de données a souvent besoin d'un support système spécifique. Le composant vidéo du multimédia pose le plus de problèmes à cause de la complexité des données à traiter, de leur volume et de leurs dimensions temporelle et spatiale. L'introduction de la vidéo sur des stations de travail a pour effet d'atteindre rapidement les limites du matériel et des systèmes.

La capture et l'enregistrement du multimédia reposent sur un support matériel système (caméras, microphones, cartes de saisie) qui est en train d'évoluer très vite.

Ce matériel coûteux peut être placé sur un serveur et partagé par plusieurs stations clients.

Il apparaît sur le marché de plus en plus de systèmes qui supportent des applications multimédia, et en particulier vidéo. On peut citer des produits tels que *QuickTime* d'Apple [QuickTime 91], *XMedia* de DEC [Xmedia 92], *Video for Windows* de Microsoft, *ActionMedia* d'IBM et la station *Indigo* de SGI [Reinhardt 93]. Dans l'approche des constructeurs, l'ordinateur joue un rôle d'arbitre entre différentes cartes de saisie et de l'affichage ce qui fait que l'intégration de différents média dans une application reste restreinte.

Une autre approche représentée par le projet *ViewStation* [Tennenhouse 94] a pour objectif de fournir une plate-forme qui facilite l'utilisation de la vidéo par toutes les applications à l'aide d'un ensemble de modules de traitement de la vidéo. L'approche du projet *ViewStation* est basé sur le traitement logiciel du multimédia où les applications se contentent des ressources et d'une capacité de traitement disponibles pour satisfaire de manière perceptible les exigences d'utilisateurs. Si les ressources ne sont pas suffisantes, les applications entrent dans un mode dégradé qui diminue temporairement la qualité d'une présentation.

Pour résumer, on peut remarquer que le multimédia peut bénéficier de l'apport du support système spécial, matériel ou logiciel. Néanmoins, ceci est aussi un obstacle à la banalisation des applications multimédia.

Stockage

Le gros volume de données multimédia et le débit qu'elles demandent dépassent souvent les capacités des mémoires secondaires actuelles. Par exemple, il est actuellement impossible d'enregistrer la vidéo non-compressée (8 bits couleur 320 × 240 × 8 bits couleur à 30 images/s) directement sur disque. Pour donner une idée du débit disponible sur une station avec un système de fichier traditionnel, la table ci-dessous compare le débit de lecture et d'écriture d'un fichier avec le débit demandé par la vidéo non compressée de faible qualité et la vidéo compressée de bonne qualité (disque *SCSI* sur une station *SUN Sparc IPX*).

<i>Opération</i>	<i>Débit (Koctets/s)</i>
lecture locale	1765
écriture locale	1431
vidéo (8 bits couleur 320 × 240) à 10 images/s	768
vidéo (8 bits couleur 640 × 480) à 30 images/s, compressé d'un facteur de 10	921

Deux approches sont utilisées pour pallier ce problème. La première consiste à exploiter plusieurs disques en parallèle (la technologie *RAID*) pour augmenter le débit et l'espace de stockage. Cette technologie offre un débit de disques suffisant pour de données multimédia, mais il faut que la vitesse du contrôleur et du bus système suive aussi. La deuxième est fondée sur la compression qui diminue le débit et l'espace de stockage de données. Par exemple, le standard *MPEG* [MPEG 91], [LeGall 91] a été conçu pour tirer profit des disques *CD-ROM* qui fournissent un débit d'environ 1.5 Mbits/s.

Représentation du multimédia

Des données multimédia ont une structure complexe et faciliter leur représentation, on préconise la séparation entre le contenu et la structure ainsi qu'entre un type de médium et son encodage. Par exemple les standards comme *HyTime* [Newcomb 91] et *MHEG* [Price 93] séparent le contenu d'une présentation et sa structure. Le standard *MIME* [NWG 93] permet de typer chaque media et de lui associer un codage spécifique. Une représentation du multimédia doit aussi prendre en compte les possibilités de composition temporelle et spatiale, d'annotation et d'accès associatif.

La structure complexe du multimédia est difficile à représenter à l'aide des supports de stockage traditionnels comme des fichiers [Little 90]. Un support plus adéquat est une base d'objets persistants qui permet de modéliser les relations complexes entre composants et qui devrait assurer l'accès continu aux objets contenant des média. Plusieurs projets de recherche s'intéressent aux bases de données orientées-objets pour ajouter les fonctionnalités nécessaires aux multimédia.

Compression

Plusieurs techniques standard comme *H.261* [H.261 90], [Liou 91], *JPEG* [JPEG 92], [Wallace 91] ou *MPEG* [MPEG 91], [LeGall 91] permettent de réduire le débit de la vidéo d'un facteur allant de 10 à 50. Elles sont souvent réalisées en matériel ce qui est un obstacle à une utilisation à plus grande échelle. La décompression logicielle efficace permettrait de présenter du multimédia sur des stations de travail quelconques. Certains produits proposent déjà cette solution (*Quick-Time* avec *RoadPizza* et *Cinepak* [Poole 91], *XMedia* avec *Software Motion Pictures* [Xmedia 92], *Iterative Systems* avec la *compression fractale* [Anson 93]). Pour donner un exemple, la décompression logicielle du format *CIF* (352x288 pixels) sur une station *SUN 10* avec le logiciel de téléconférence *IVS* développé à l'INRIA [Turletti 93] (le codec *H.261*) peut atteindre 15 images/seconde. De nouvelles techniques prometteuses sont basées sur les algorithmes d'*ondelettes* [Rioul 91]

qui évitent l'effet de pixelisation inhérent aux standards *H.261*, *JPEG* ou *MPEG*.

Accès isochrone et synchronisation

Un autre problème est lié au caractère temporel des données multimédia. Certains média comme la vidéo ou le son sont composés de gros objets binaires accédés avec une *cadence constante*. Cela nécessite un placement spécial sur disque et une organisation nouvelle du système de stockage pour supporter la continuité d'accès [Venkat 91]. Un certain effort de recherche est consacré à l'extension de systèmes de fichiers traditionnels pour supporter les données multimédia. Le format Bento d'Apple a été conçu pour le stockage de documents multimédia complexes dans un fichier [BENTO 93]. Le placement du fichier Bento sur disque assure la continuité d'accès.

La synchronisation entre média et l'existence des relations temporelles entre des éléments multimédia nécessitent un support spécifique des primitives de synchronisation et de gestion du temps [Anderson 90]. Idéalement, un support système du temps réel serait souhaitable, mais la majorité des systèmes actuels n'offrent pas cette fonctionnalité. Certains projets de recherche étudient les extensions temps-réel pour les systèmes d'exploitation [Kitayama 94].

L'expérience du projet *ViewStation* montre que la performance du multimédia n'a pas besoin d'excéder la capacité de perception humaine. Une notion approchée du temps (dit *temps perceptible*) est suffisante pour une classe d'applications multimédia interactives. Au lieu d'exiger un traitement en temps réel, on se contente d'un traitement le plus rapide possible. Il faut aussi remarquer que la capacité de traitement toujours grandissante diminue l'importance de la précision du temps.

Un autre type de support système est nécessaire pour dégrader progressivement la qualité de présentation dans le cas de surcharge. Parfois, une application peut déléster volontairement la charge (*load shedding*) en diminuant sa consommation de ressources [Compton 94]. Pour cela, on a besoin d'un support système spécial, par exemple l'accès aux polices d'ordonnancement des processus.

Communication

Pour plusieurs raisons discutées précédemment, nous avons besoin de mécanismes d'accès à distance à des données multimédia. Ces données nécessitent des débits élevés, des délais d'accès courts et une régularité de transmission. On peut distinguer deux types principaux des réseaux – les réseaux locaux qui offrent des débits élevés sur distances courtes et les réseaux à longue distance dont les débits sont moins élevés. Différents problèmes se posent dans ces deux environnements. Par exemple sur un réseau local, on peut disposer de débits élevés et on peut envisager une architecture client-serveur avec un serveur spécialisé de stockage gérant les données multimédia auxquelles accéderaient à distance des stations clients.

Pour donner une idée des débits disponibles dans une configuration traditionnelle d'un réseau local Ethernet supportant des protocoles standard, la table ci-dessous compare ces débits avec les besoins de la vidéo (une station *SUN Sparc IPX* et un serveur *SGI*). On peut constater que le débit de la vidéo (soit non-compressée de basse qualité, soit compressée de bonne qualité) correspond à peu près aux débits des protocoles. Les réseaux locaux de nouvelle génération comme *FDDI* ou *ATM* fournissent des débits dix fois plus élevés (100 Mbits/s ou plus) et suffisant pour la transmission du multimédia.

<i>Opération</i>	<i>Débit (Koctets/s)</i>
lecture (TCP)	826
lecture (NFS)	718
écriture (NFS)	186
capacité d'Ethernet	1186
vidéo (8 bits couleur 320 × 240) à 10 images/s	768
vidéo (8 bits couleur 640 × 480) à 30 images/s, compressé d'un facteur de 10	921

L'accès au multimédia sur grands réseaux pose d'autres problèmes, à savoir la recherche d'information sur un grand nombre de serveurs, la continuité d'accès et la synchronisation. La présentation en continu et la synchronisation des média est plus difficile car les délais de transmission et leur variabilité sont plus élevés que dans le cas de réseaux locaux. Ceci accentue l'importance des garanties de services qui sont d'autant plus importantes si la présentation du multimédia se fait à partir d'une source active comme c'est le cas dans une téléconférence ou dans le cas de la vidéo à la demande.

Un autre problème que nous avons déjà vu précédemment est le facteur d'échelle. Comme les réseaux connectent un grand nombre de serveurs, il est indispensable d'avoir des outils et des services de recherche et de navigation. Les moyens d'accès à l'information multimédia sur le réseau Internet ont fait l'objet d'une étude approfondie demandée par *RARE* [NWG 94]. Elle analyse les besoins d'utilisateurs en matière des moyens d'accès et fait l'état des systèmes existants comme *WAIS*, *WWW* et *Gopher*. Le rapport conclut que malgré le déploiement grandissant des systèmes d'information, ils ne satisfont pas toutes les demandes d'utilisateurs, essentiellement en ce qui concerne la présentation du multimédia et les garanties de services. Mais il conseille de concentrer les efforts sur les outils existants comme *WWW* et propose de les adapter et de les enrichir. Un support d'accès efficace est nécessaire.

L'apparition de nouveaux réseaux facilitera le développement des applications qui exploitent ce vaste espace d'information. Ces applications ont besoin d'un nouveau type d'outils de programmation qui permettraient d'exécuter des actions sur le réseau pour le compte d'utilisateurs. Des exemples de tels outils sont des langages procéduraux comme *Telescript* de *General Magic*, *Apple Events* et *TCL* [Genesereth 94] ou des langages déclaratifs comme *LO* [Andreolli 94].

Pour résumer, on peut remarquer que le multimédia réparti sur réseaux est un domaine jeune et en pleine expansion. Il est un peu en mal de techniques et de sa propre méthodologie – il concerne des problèmes aux frontières de plusieurs domaines comme les réseaux à haut débit, les bases de données, les systèmes de stockage, l'accès associatif et l'édition des documents. Par conséquent, il est de plus en plus important de s'impliquer dans ce domaine du futur.

IV.3.3 Objectifs du projet

Les problèmes de recherche sont nombreux et nous voudrions nous focaliser sur certains aspects, à savoir la représentation du multimédia, la recherche sur réseaux et l'accès efficace au multimédia réparti. Nous allons développer un prototype en utilisant le cadre du *WWW* et *Mosaic* comme une base commune d'accès et d'interconnexion des éléments.

Représentation du multimédia

Il s'agit d'étendre les concepts de la vidéo algébrique aux documents multimédia. Pour cela nous allons définir et développer une représentation flexible du multimédia qui permet d'associer aux objets multimédia élémentaires des descriptions de leur contenu pour la recherche et la navigation rapides. Cette représentation permettra de définir une structure complexe emboîtée des données multimédia, des opérations de composition temporelle sur cette structure et sa présentation. En outre, nous allons proposer des méthodes et des outils pour l'identification et l'extraction du contenu de multimédia qui sera stocké dans la nouvelle représentation. On s'intéressera également à l'indexation de la représentation pour faciliter l'accès associatif et la navigation selon le contenu, les relations temporelles et la structure des données. Il serait aussi nécessaire de développer des outils d'édition et de manipulation de la nouvelle représentation du multimédia. On envisage d'utiliser l'éditeur de documents structurés *Grif* pour faciliter la manipulation de la représentation.

Nous avons vu précédemment qu'un support de stockage spécifique est nécessaire pour des données multimédia. Nous envisageons de stocker la représentation logique et structurée des documents multimédia comme des objets persistants. Dans un premier temps, nous adopterons la stratégie du projet *ViewStation* basée sur la notion approchée du *temps perceptible*. Des techniques de compression logicielle seront utilisées pour réduire le débit nécessaire pour la présentation du multimédia.

Ceci permettra la visualisation du multimédia sans support système spécifique. Ensuite, nous allons étudier comment prendre en compte l'aspect de la qualité de services et d'accès continu aux objets contenant des média.

Recherche sur réseaux

Nous avons obtenu un contrat de recherche CNET [CNET 94] dont l'objectif est de définir et de développer des services avancés de recherche, de navigation et de localisation de l'information sur grands réseaux. Il fait suite au projet du routage par contenu. Plus précisément, il s'agira de :

- définir et développer des outils pour l'indexation du contenu de serveurs d'information,
- définir une architecture permettant une recherche et une navigation efficaces parmi ces serveurs d'information,
- proposer un mécanisme d'agents programmables capables d'effectuer des actions complexes pour le compte des utilisateurs (accès à l'information, filtrage, recherche) et des serveurs (routage, indexation, propagation d'information).

Pour pouvoir le faire, il faut résoudre plusieurs problèmes. D'abord, il convient de définir des méthodes et développer des outils d'indexation de serveurs d'information. Par exemple, le contenu d'un serveur peut être caractérisé par des résumés de documents ou des listes de mot-clés. La spécification du contenu est un compromis entre l'espace mémoire utilisé et la complétude de l'information. On peut par exemple caractériser le contenu d'un serveur *WAIS* à l'aide de ses index, mais leur volume (de l'ordre de celui de la base elle-même) peut être prohibitif. Selon le type de système (*WAIS*, *Gopher*, *WWW* ou autre), des techniques différentes seront proposées. L'indexation de serveurs supportant des documents hypertextes nécessite le parcours de l'arbre de recouvrement du graphe de documents. L'indexation des serveurs doit aussi prendre en compte des données multimédia. Notre prototype utilisera *WAIS* pour l'indexation et la recherche de serveurs pertinents. On s'intéressera également à l'exploitation des serveurs d'information France Telecom.

Ensuite, il faut organiser les serveurs en une architecture qui permet une recherche et une navigation efficaces. Pour cela, il faut définir quelle connaissance du contenu des serveurs doit être propagée et comment. Le contenu des serveurs sera propagé vers des serveurs spécialisés (les *routeurs*) qui pourront faire suivre les requêtes des utilisateurs vers les serveurs concernés. Les routeurs seront aussi organisés hiérarchiquement, créant ainsi un espace global d'information qui facilitera l'exploration et la navigation.

Le projet vise aussi à permettre le filtrage dynamique d'information. Pour cela, une requête d'un utilisateur pourra être souscrite par anticipation dans les listes d'envoi ce qui permet de recevoir des documents pertinents dès qu'ils apparaissent

sur les serveurs. En plus de possibilités de recherche et de navigation, on proposera un mécanisme d'exécution d'actions. Par exemple, l'utilisateur pourra spécifier une suite d'actions à mener sur plusieurs serveurs et le résultat de ces actions sera présenté comme une réponse.

Toutes les fonctions décrites précédemment seront intégrées dans les entités appelées *agents* qui seront programmables. En outre, les agents pourront effectuer des actions pour le compte des utilisateurs ou des serveurs. Les actions de base incluent : la préparation des résumés du contenu des serveurs, la propagation et l'indexation des résumés, le routage des requêtes, le filtrage d'information et le maintien des caches.

Accès efficace au multimédia réparti

L'accès efficace à des données multimédia est un facteur de la réussite et de l'utilisation large des services proposés. Le temps de réaction aux interactions avec un utilisateur doit être suffisamment court pour ne pas décourager les utilisateurs. On propose de suivre deux directions complémentaires. La première consiste, en attendant l'apparition des réseaux *ATM*, à concevoir le support du traitement logiciel du multimédia sur des stations banalisées qui n'offrent pas de support du temps réel, ni de cartes matérielles. Actuellement, les services existants d'accès à l'information sur réseaux sont très mal adaptés aux données multimédia, qui nécessitent des débits élevés et des délais d'accès courts. L'architecture de ces systèmes engendre un trafic élevé vers des serveurs populaires qui sont de plus en plus chargés. En outre, l'arrivée des outils de recherche et de navigation a pour effet une augmentation de la charge des serveurs et du trafic des réseaux parce qu'il est de plus en plus facile de trouver de l'information. La présentation en continu et la synchronisation des média est difficile si la communication se fait à travers des routeurs et des liaisons intercontinentales. Néanmoins, l'efficacité peut être obtenue soit par la duplication de données (emploi de caches) soit en exploitant des ressources redondantes (disques, connections réseaux). Par exemple, les documents multimédia ou les index qui sont souvent accédés, pourront être gardés dans un cache local pour éviter de charger les serveurs et les réseaux. Un autre avantage de cette technique est l'accès continu aux données multimédia qui sont volumineuses et dont la présentation impose des délais de transmission courts. Les techniques de pré-chargement et de cache mémoire seront à développer. Le cache local peut aussi être pré-chargé pendant les périodes d'inactivité ou sur une demande d'un utilisateur, facilitant ainsi l'accès.

La deuxième direction consiste à anticiper le déploiement des réseaux à haut débit garantissant la qualité de service. Pour cela, nous allons étudier comment ils pourront être utilisés par des systèmes d'exploitation et des applications multimédia, en particulier pour ce qui concerne la qualité de service. Les systèmes actuels ne sont pas prévus pour travailler dans un régime contrôlé où l'attribution des ressources

comporte un aspect temporel. Il est donc difficile d'exploiter les possibilités des réseaux au niveau système. Nous allons étudier comment les paramètres de la qualité de service peuvent être pris en compte et comment des applications multimédia pourront en bénéficier. De nouvelles primitives et abstractions sont probablement nécessaires pour contrôler et exploiter cette fonctionnalité. Au niveau du stockage, ceci se traduira par l'accès continu et contrôlé aux objets multimédia. Au niveau de la communication, il faut un support qui résout les problèmes de synchronisation des média et de contraintes temporelles. Une approche à explorer consiste à utiliser des langages synchrones pour la programmation du multimédia réparti et à étudier comment ils peuvent intégrer la gestion de la qualité de service [Horn 93].

Prototype sur WWW

Pour faciliter le prototypage et l'accès au multimédia à travers des réseaux à grande distance, nous allons utiliser le cadre du *WWW* et *Mosaic* comme une base commune d'accès et d'interconnexion des éléments. Pour cela, nous allons enrichir les fonctionnalités du *WWW* avec un support de stockage, d'accès et d'exécution des objets. Il est intéressant de remarquer que le protocole *HTTP* présente des fonctionnalités qui permettent d'interconnecter des systèmes hétérogènes, et en particulier des systèmes à objets. La méthode *POST* du protocole peut être utilisée pour une invocation d'objets à distance. Sur le serveur *HTTP*, le mécanisme de *CGI* fournit une interface d'appel de programmes en réponse à une requête *HTTP* et il peut servir pour accéder à des objets locaux. En outre, le protocole *HTTP* utilise le standard *MIME* [NWG 93] (qui comporte déjà un certain nombre de types multimédia) pour typer les objets échangés. Un autre problème à aborder est le nommage et la localisation des objets, qui sont actuellement résolus de manière trop simple et contraignante.

Développements à court terme

Notre action s'insère dans le projet d'installation d'un réseau rapide métropolitain à Grenoble [Verjus 94]. Dans ce cadre, qui permet d'expérimenter nos idées en vraie grandeur, nous proposons de développer deux services à base de *WWW* [Quint 94]. Le premier est un *serveur vidéo* basé sur la vidéo algébrique qui permet l'accès associatif, la navigation, la composition et le filtrage des segments vidéo. Le deuxième est un *serveur de cache* des documents multimédia. Il permettra d'améliorer l'efficacité d'accès aux documents multimédia sur l'Internet. En cachant des documents localement sur le serveur, les performances d'accès seront similaires à celles des accès sur un réseau local.

IV.4 Conclusion

D'après les textes, l'habilitation à diriger des recherches sanctionne la reconnaissance du haut niveau scientifique du candidat, du caractère original de sa démarche dans un domaine de la science, de son aptitude à maîtriser une stratégie de recherche dans un domaine scientifique ou technologique suffisamment large et de sa capacité à encadrer de jeunes chercheurs. Dans ce document, nous avons essayé de présenter l'ensemble de nos activités de recherche, de les situer dans le contexte du domaine et de proposer une action orientée vers les futures autoroutes de l'information qui a pour but de fonder une infrastructure pour le multimédia réparti. Ceci n'a pas été facile parce que nos activités concernaient trois domaines différents qui ont leurs propres méthodologies et techniques de recherche. En outre, il est difficile de revenir sur les travaux qui ont été faits il y a dix ans et qui sont relatifs à un domaine que l'on ne suit plus. Néanmoins, la perspective du temps permet d'avoir un recul et d'évaluer les qualités de ces travaux de façon plus critique.

IV.5 Bibliographie

- [Anderson 90] D. P. Anderson, S.Tzou et R. Wahbeet, ‘‘Support for Continuous Media in the DASH System’’, *Proc. 10th Int. Conference on Distributed Computing Systems*, Paris, mai 1990.
- [Andreolli 94] J.M. Andreolli, H. Gallaire et R. Pareschi, ‘‘Objets Meet Rules: from Communication to Coordination through Declarativity’’, *Proc. Object World Germany*, 1994.
- [Anson 93] L.F. Anson, ‘‘Under the Hood: Fractal Image Compression’’, *Byte*, pp. 195–202, octobre 1993.
- [BENTO 93] *Bento Specification*, Apple Computer, Cupertino CA, 1993.
- [CNET 94] CNET, *Accès à l’information répartie*, Contrat de recherche, juin 1994.
- [Compton 94] C.L. Compton et D.K. Tennenhouse, ‘‘Collaborative Load Shedding for Media-based Applications’’, *Proc. IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*, pp. 496–501, Boston, MA, mai 1994.
- [Duda 94] A. Duda, *Multimédia réparti*, Note de travail, Bull-IMAG Systèmes, mai 1994.
- [Furht 94] B. Furht, ‘‘Multimedia Systems’’, *IEEE Multimedia*, 1(1), pp. 47–59, 1994.
- [Genesereth 94] M.R. Genesereth et S.P. Ketchpel, ‘‘Software Agents’’, *CACM*, 37(7), juillet 1994.
- [H.261 90] CCITT, *Video Codec for Audiovisual Services at p×64*, Recommandation H.261, août 1990.
- [Horn 93] F. Horn et J.B. Stefani, ‘‘On Programming and Supporting Multimedia Objects Synchronization’’, *Computer Journal*, 36(1), pp. 4–18, janvier 1993.
- [JPEG 92] *Digital Compression and Coding of Continuous-Tone Still Images*, ISO/IEC Draft International Standard 10918–1, janvier 1992.
- [Kitayama 94] T. Kitayama et al., *Real-Time Mach 3.0*, User Reference Manual, Carnegie-Mellon University, juin 1994.
- [LeGall 91] D. Le Gall, ‘‘MPEG: A Video Compression Standard for Multimedia Applications’’, *CACM*, 34(4), pp. 46–58, April 1991.
- [Little 90] T.D.C. Little et A. Ghafoor, ‘‘Synchronization and Storage Models for Multimedia Objects’’, *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, 8(3), pp. 413–427, 1990.
- [Liou 91] M. Liou, ‘‘Overview of the px64 Kbit/s Video Coding Standard’’, *CACM*, 34(4), pp. 59–63, avril 1991.

- [MPEG 91] *Coded Representation of Picture, Audio and Multimedia/Hypermedia Information*, ISO/IEC Committee Draft International Standard 11172, décembre 1991.
- [NWG 93] Network Working Group, *MIME (Multipurpose Internet Mail Extension)*, RFC 1341, avril 1993.
- [Poole 91] L. Poole, “QuickTime in Motion”, *MacWorld*, pp. 154—159, septembre 1991.
- [QuickTime 91] *Quicktime Documentation*, Apple Computer, Quicktime CD, Apple Computer, Cupertino, California, 1991.
- [Quint 94] V. Quint et A. Duda, *Proposition pour un projet multimédia autour d’un réseau ATM*, Bull-IMAG Systèmes, juillet 1994.
- [Reinhardt 93] A. Reinhardt, “Video Conquers the Desktop”, *Byte*, pp. 64–80, septembre 1993.
- [Rioul 91] O. Rioul et M. Vetterli, “Wavelets and Signal Processing”, *IEEE SP Magazine*, pp. 14–38, octobre 1991.
- [Tennenhouse 94] D. K. Tennenhouse et al., “A Software-Oriented Approach to the Design of Media Processing Environments”, *Proc. IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems.*, pp. 435–444, Boston, MA, mai 1994.
- [Turletti 93] T. Turletti, *H.261 Software Codec for Videoconferencing over the Internet*, rapport de recherche INRIA 1834, janvier 1993.
- [Venkat 91] P. Venkat Rangan et H.M. Vin, “Designing File Systems for Digital Video and Audio”, *Proceedings of the 13th Symposium on Operating System Principles*, pp. 81—94, Pacific Grove, CA, octobre 1991.
- [Verjus 94] J-P. Verjus, *Les autoroutes de l’information*, note IMAG, mai 1994.
- [Wallace 91] G.K. Wallace, “The JPEG Still Picture Compression Standard”, *CACM*, 34(4), pp. 30—44, avril 1991.
- [Xmedia 92] *XMedia Tools – Concepts Guide*, Digital Equipment Corporation, février 1992.

Chapitre IV

Projets de recherche et conclusions

IV.1 Introduction	119
IV.2 Récapitulation des activités antérieures	119
IV.3 Projets de recherche	120
IV.3.1 Motivations	120
IV.3.2 Problèmes de recherche	121
IV.3.3 Objectifs du projet	127
IV.4 Conclusion	131
IV.5 Bibliographie	132