La télé-ingénierie coopérative : principes et exemples

Philippe Owezarski

LAAS-CNRS
7, Avenue du Colonel Roche
F-31077 Toulouse cedex 4
e-mail : owe@laas.fr

Résumé : La télé-ingénierie coopérative est fortement d'actualité aujourd'hui car elle semble constituer un moyen pour améliorer la qualité et le temps de conception des produits industriels. En effet, les besoins croissants dans ce domaine et les progrès technologiques récents en matière de réseaux informatiques longues distances, systèmes opératoires, technologies multimédias et applications distribuées ont ouvert la voix à de nouvelles façons de travailler. Cet article propose une introduction à la télé-ingénierie coopérative et aborde les principaux aspects de ce domaine en présentant les applications et environnements de travail coopératif, les besoins et solutions réseaux, ainsi que les freins et les limitations au déploiement généralisé de ces technologies. Tous ces aspects seront illustrés par des exemples de projets d'expérimentation ayant eu lieu ou en cours actuellement.

1. Introduction

Quel est le produit qui, aujourd'hui, peut être conçu, réalisé, fabriqué et diffusé par un seul individu ? Quel que soit le domaine, quel que soit le produit ou le service à fournir, il est le fruit du travail d'une équipe ou d'un groupe d'individus souvent géographiquement distribués.

C'est le cas par exemple dans les domaines de la conception aéronautique et de la construction automobile. Aujourd'hui, pour répondre à l'aspect pluri-disciplinaire des compétences requises, les constructeurs automobiles et aéronautiques créent des plateaux composés de tous les intervenants de toutes les sociétés et de toutes les compétences métier requises, avec tous les problèmes de locaux, de confidentialité et de déplacements des effectifs que cela engendre. Cette constatation est à l'origine de nombreux efforts dans le domaine de l'ingénierie concourante dans de nombreux secteurs économiques, et a conduit à la mise en place de nombreux réseaux intranets et extranets. Ainsi, les premiers travaux ont porté sur la télé-ingénierie asynchrone (ou en temps différé), basés sur le courrier électronique, les transferts de fichiers, etc.

Mais en avançant dans cette logique, c'est le travail coopératif synchrone, rendu possible grâce aux nouvelles technologies de l'information et de communication (services réseaux, ordinateurs, composants pour les traitements multimédias, logiciels de communication et de coopération, etc.) qui permettra de créer des plateaux, ou même des entreprises virtuelles. Le but espéré par les entreprises est un gain en compétitivité, en offrant la possibilité à des ingénieurs et techniciens qui doivent coopérer d'enrichir et de multiplier le nombre de leurs interactions. Ainsi, il devrait être possible d'améliorer le facteur QCD (Qualité / Coût / Délai) des produits.

Cet article présentant les principes de la télé-ingénierie coopérative et quelques exemples va donc tout d'abord présenter les logiciels coopératifs et leurs fonctionnalités (partie 2). Puis, la partie 3 présentera les besoins en communication, la partie 4 quelques exemples de projets et la partie 5 les lacunes des environnements de travail coopératif et les freins à leur déploiement massif. Enfin, la partie 6 conclura cet article.

2. Les logiciels pour le travail coopératif

Les premiers environnements de travail coopératif à être apparus sont les environnements pour le travail distribué asynchrone qui intègrent sous une interface unifiée des outils de courrier électronique textuels et/ou multimédias, de transfert de fichier, de consultation de base de données distribuées, etc. L'environnement de ce type le plus connu et utilisé aujourd'hui est certainement Lotus notes ; dans une catégorie de logiciels rendant des services similaires, on assiste également à l'explosion de l'utilisation d'Internet Explorer et de Netscape. Ces environnements de travail coopératif asynchrone sont apparus avec la libéralisation du réseau Internet et offrent des services dont il semble difficile de se passer dans notre travail quotidien. Cependant, même s'ils offrent aux utilisateurs des moyens de communication performants, ils présentent tout de même des lacunes car ils ne permettent que des interactions en temps différé et de ce fait les utilisateurs n'interagissent pas directement sur la conception du produit : ils agissent à tour de rôle, ralentissant ainsi les interactions par rapport à ce qu'elles seraient si les utilisateurs travaillaient face à face, et surtout privant ces utilisateurs de tous les supports de communication informels (comme le dialogue par exemple) qui sont pourtant riches d'information. Le téléphone fait souvent office de service palliatif dans ce cas, mais il n'offre pas vraiment une solution acceptable dans la mesure où la voix est dans ce cas découplée du support d'information, d'où l'intérêt de disposer d'un environnement intégré.

Toutefois, il semble acquis qu'en plus de ces environnements de travail asynchrone, il faut pouvoir utiliser des services synchrones, si possible intégrés à l'environnement de travail général précédemment présenté. Les outils de communication multimédias synchrones les plus couramment utilisés et qui composent les principaux environnements de travail coopératif sont :

- Les outils de visioconférence qui permettent des communications par la voix et l'image entre deux ou un groupe d'utilisateurs ;
- Les tableaux blancs distribués qui émulent le traditionnel tableau blanc des salles de réunions, permettant aux utilisateurs de bénéficier d'un support (pour dessiner ou écrire) nécessaire à l'exposé de leurs contributions. De plus, ces outils de tableaux blancs sont généralement enrichis par des fonctionnalités impossibles à mettre en œuvre sur un vrai tableau blanc, comme la possibilité de télécharger des modèles informatiques produits par des logiciels de CAO, permettant ainsi d'enrichir l'éventail des supports de discussion ;
- Les outils de partage d'application qui sont généralement les outils incontournables pour ces environnements. Ces outils permettent aux utilisateurs d'un domaine de partager les logiciels qu'ils utilisent (logiciels de CAO par exemple) avec les autres participants de la session de travail coopératif. Le partage d'application permet ainsi à un utilisateur d'envoyer en temps réel l'image de l'application partagée vers tous ses interlocuteurs, avec également toutes les évolutions en temps réel, les mouvements des pointeurs, etc. D'autre part, ces outils permettent aussi aux interlocuteurs de prendre la main sur l'application partagée, application qui s'exécute sur la station de l'utilisateur qui a initié le partage, et de la même manière, tous

les participants à la session de travail assistent aux évolutions de l'application et aux actions de l'utilisateur qui contrôle l'application ;

- Les espaces de travail partagé qui permettent à deux ou un groupe d'utilisateurs d'éditer des documents (graphiques, textuels, formels, etc.) coopérativement ;
- Les visualisateurs 2D ou 3D distants qui permettent de montrer à distance le résultats de phases de conception sur un logiciel de CAO par exemple. Les visualisateurs peuvent être considérés comme des outils de partage d'application bridés (sans retour), mais ils sont très utilisés, notamment lors des revues de projets.

D'autre part, une des caractéristiques importantes du travail coopératif synchrone est qu'il fait intervenir un groupe d'utilisateurs, et qu'en ce sens il est obligatoire de sortir du schéma classique des communications point à point. Il faut également ajouter que dans ce groupe d'utilisateurs, chaque individu a une fonction, un rôle et une importance qui lui sont propres par rapport au travail qu'il a à fournir. De ce fait, de nouveaux types d'outils de gestion de groupes et de la coopération sont nécessaires en plus des traditionnels outils de communication multimédia. On trouve ainsi :

- Les logiciels de gestion du « workflow » qui contrôle que tous les échanges qui ont lieu sont en accord avec le processus métier qui a été défini ;
- Les logiciels de gestion des groupes qui permettent de gérer la participation des membres du groupe aux différentes sessions de travail coopératif ;
- Les services de coordination qui permettent d'adapter les besoins en communication des applications aux contraintes des services offerts par le réseau.

Quelques environnements de travail coopératif synchrone

Historiquement, les outils de visioconférence et de tableau blanc, composants essentiels des environnements de travail coopératif synchrone, sont apparus en premier lieu dans le monde Unix (entre 1992 et 1995). Mais ces premiers outils ont été commercialisés à une époque où les offres en infrastructures réseau étaient insuffisantes pour faire du travail coopératif synchrone, et n'ont donc pas été largement diffusés. Suite à des faillites des entreprises ayant conçu ces logiciels ou à des rachats par des sociétés travaillant autour des technologies du Web asynchrone (notamment le rachat de Communique et de TeamConference par Netscape), le marché du travail coopératif synchrone (notamment sous Unix) a connu une forte récession entre les années 1995 et 1998.

Avec les avancées récentes dans le domaine du déploiement des infrastructures de communication, notamment pour l'Internet, et des besoins en matière de travail coopératif synchrone toujours grandissants, le domaine des logiciels de visioconférence, de tableau blanc et de partage d'applications a fortement progressé depuis 1998, poussé par le monde du PC et de Windows. Ainsi, de très nombreuses solutions existent aujourd'hui pour PC et l'Internet, mais elles restent des solutions de basse qualité adaptées au monde Internet, et n'ont pas convaincu les acteurs économiques des mondes comme l'aéronautique, le spatial, l'automobile, l'électronique, etc., qui recherchent une meilleure qualité pour leurs échanges et interactions.

Face à cette situation, les développeurs de logiciels (en particulier sous Unix) ont recommencé à produire de nouveaux outils pour le travail coopératif de haute qualité, mais ces solutions restent souvent propriétaires et sont souvent limitées dès que les interactions font intervenir plus de deux utilisateurs.

Il existe également des logiciels de travail coopératif universitaires ou académiques, généralement conçus pour fonctionner sur Internet comme par exemple VIC, VAT, RAT,

WB, etc. Mais ces logiciels restent généralement peu ou pas utilisés dans le monde industriel à cause de l'absence d'un support de maintenance.

- Ainsi, parmi les produits industriels, sur PC on trouve une multitude d'offres comme :
  - Netmeeting de Microsoft,
  - Proshare d'Intel,
  - Picturetel,
  - MediaCom de Siemens,
  - Etc.

  qui offrent des fonctionnalités de visioconférence et de partage d'application en utilisant les normes de visiophonie H320, H321 (et dont certains supportent également la nouvelle norme H323)[1], ainsi que les normes T12x pour les autres types d'interactions.
- Sur stations, il existe également de nombreuses solutions, mais qui restent propriétaires, et qui sont souvent adaptées à des réseaux locaux. Ainsi, on peut citer :
  - InPerson de SGI,
  - SunForum de Sun (également intéropérable avec SunForum sur PC NT),
  - PSVC de Paradise Software (aujourd'hui arrété),
  - Etc.

  qui sont des solutions peu utilisables dans le cadre de réseaux extranets, par exemple, car tous les partenaires connectés au réseau n'ont pas nécessairement les mêmes équipements.
- Enfin, si on considère maintenant des produits pouvant fonctionner sur de multiples plates-formes hétérogènes, il existe relativement peu de solutions, et celles qui existent présentent de nombreuses lacunes. On peut toutefois citer :
  - Communique (INSOFT) & TeamConference (SPECTRAGRAPHICS) - dont la commercialisation est aujourd'hui arrêtée - mais qui ont pendant plusieurs années constitué la seule solution hétérogène disponible. Ces deux produits offraient des fonctionnalités de visioconférence (Communique) et de partage d'application (TeamConference) auxquelles venaient s'ajouter des fonctionnalités pour le travail coopératif asynchrone ;
  - MMC GroupX qui est un produit issu du projet de recherche allemand Berkom, puis commercialisé par Siemens, et qui offre sous une interface intégrée des fonctions de visioconférence, de partage d'application et de gestion de groupe. Cette application fonctionnait sur Sun, HP et sur PC Windows ;
  - MediaCom X de Siemens (aussi appelé TCA pour Tele Cooperation Assistant) où chaque poste comporte deux machines : un PC pour la visioconférence, la gestion de groupes et le partage d'applications Windows, et une station de travail Unix pour le partage d'applications X, le tout avec une interface intégrée permettant de piloter les deux machines à l'aide d'un seul clavier et d'une seule souris.

3. Réseaux et besoins en communication

[1] H320 est un codage audio et vidéo pour les réseaux bas débit (Numéris, Internet), H321 pour les réseaux haut débit à QoS garantie (ATM CBR, ATM VBR, etc.) et H323 pour les réseaux hauts débits sans garantie de QoS (ATM ABR par exemple). La norme T120 propose quant à elle une solution pour régler le problème des interactions sur des outils tels les tableaux blancs ou le partage d'application (solution plus ou moins complète et efficace). Cette norme fournit également une recommandation par rapport aux messages protocolaires permettant de gérer les groupes d'utilisateurs et toutes les interactions qui peuvent apparaître entre eux. Cette normalisation reste cependant très limitée, et ne permet pas de maître en œuvre de nombreuses fonctionnalités pour la gestion coopérative, et notamment pour des fonctionnalités de coordination.

Les infrastructures réseaux

De tels environnements de travail coopératif ont cependant des besoins à la fois importants et très spécifiques. C'est d'ailleurs en grande partie l'évolution des réseaux de communication, avec une augmentation des débits et l'apparition de nouveaux services qui est à l'origine de l'émergence de ces nouveaux modes de travail.

Historiquement, le travail coopératif distribué est apparu au début des années 90 sur les réseaux RNIS, qui offraient une qualité de service garantie, même si en revanche ils n'offraient pas une grande flexibilité d'utilisation et un débit trop bas pour pouvoir utiliser des logiciels à QoS élevée. Très rapidement, ces environnements de travail coopératif ont migré pour être utilisables sur le réseau Internet qui apportait plus de flexibilité d'utilisation que le RNIS et qui pouvaient être ainsi facilement intégrés avec les logiciels de communication asynchrones utilisés par les entreprises. Par contre, les débits restaient très faibles, interdisant des communications de haute qualité, et surtout la QoS n'était et n'est toujours pas garantie. Il est donc possible qu'une session de travail s'arrête en cours par manque de débit disponible sur le réseau. Or, avec l'explosion des communications sur l'Internet, le réseau est très souvent encombré, et les applications de travail coopératif synchrone peuvent difficilement utiliser le réseau Internet actuellement.

Le travail coopératif synchrone s'est donc essentiellement développé sur des réseaux intranets ou extranets de grandes entreprises et/ou de grands groupes. En effet, ces grandes entreprises possèdent très souvent (ou louent) un réseau interne qui interconnecte les différents centres d'étude et de production, et sur lequel le trafic est maîtrisé, évitant ainsi les problèmes de congestion fréquemment rencontrés sur l'Internet. D'autre part, de nombreux réseaux intranets étaient et sont encore des réseaux Frame Relay (généralement à 2 Mbps) qui offrent des débits suffisamment élevés (et par la même avec une bonne QoS si le réseau est sous utilisé) pour du travail coopératif synchrone de bonne qualité. Il en est de même pour les extranets entre plusieurs entreprises partenaires dans des projets qui peuvent louer des liens Frame relay, et de plus en plus souvent des VP ATM. Sur de tels réseaux, dimensionnés pour éviter les congestions coûteuses à l'entreprise, le travail coopératif synchrone a trouvé un terrain propice à son développement. D'ailleurs, dans certaines entreprises, il y avait parfois trop de sessions de travail coopératif en parallèle qui interagissaient, et qui provoquaient les unes sur les autres des perturbations au niveau de la QoS. Pour éviter ces problèmes et pour continuer à avoir des réseaux sans congestions ou perturbations, la solution consiste à définir sur ces infrastructures des réseaux virtuels (VPN : Virtual Private Networks) en fonction de la structure de l'entreprise et des procédés des métiers.

La qualité de service

La qualité de service reste un des facteurs essentiels pour le déploiement de ces nouveaux modes de travail. En effet, les environnements de travail coopératif synchrone génèrent 3 types de flux d'information : des flux audio et vidéo pour la visioconférence, et des flux de données pour les autres logiciels (tableaux blancs, partages d'application, etc.).

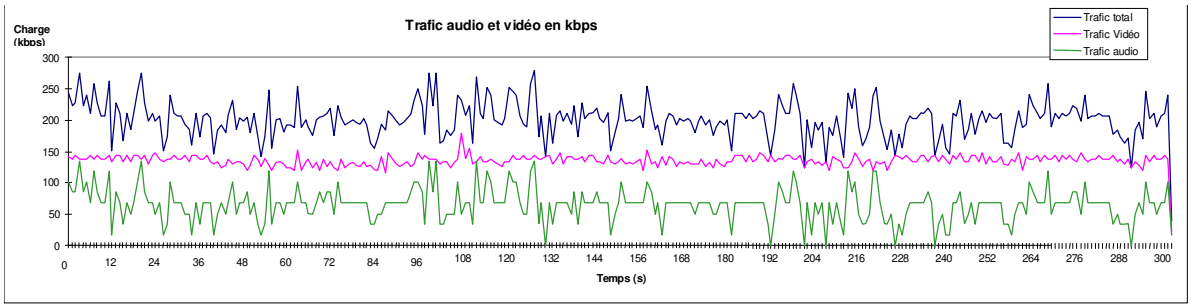
Ces différents flux ont des caractéristiques très différentes en termes de débit, de fiabilité, de profils de trafic, de contraintes temporelles, etc. Ainsi, l'audio est classiquement un flux CBR[2] devant avoir une fiabilité presque totale et un respect très strict de contraintes temporelles. La vidéo est un flux de type VBR[3] avec des contraintes de fiabilité et de synchronisation temporelle relâchées par rapport à l'audio, mais avec des besoins en bande

[2] CBR : Constant Bit Rate. Cela correspond à un trafic dont le débit est constant au cours du temps.

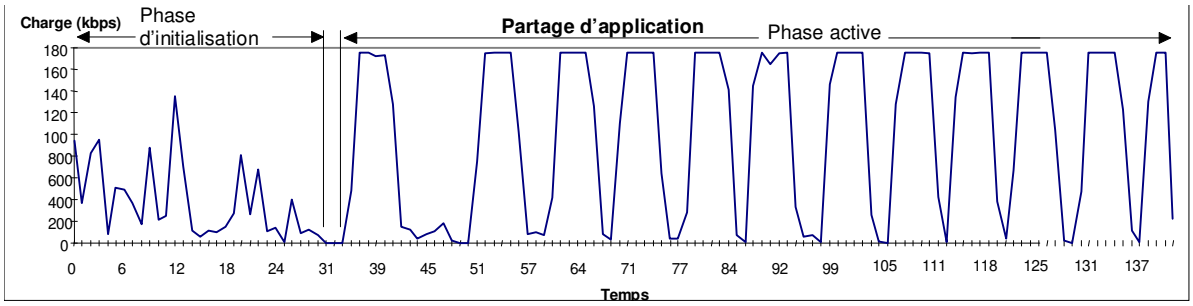
[3] VBR : Variable Bit rate. Cela correspond à un trafic dont le débit est variable au cours du temps, mais avec des variations bornées.

passante plus importants. Enfin, les données n'ont pas un profil type, si ce n'est que ce sont des trafics en rafales, requérant une fiabilité totale, mais surtout comme ils sont générés par des applications très interactives, le délai de bout en bout doit être très réduit. La Figure 1 montre un chronogramme représentant des trafics typiques pour des sessions de travail coopératif (relevés dans le projet CANET [OWE98a] sur des VP[4] ATM à 2 Mbps).

Il est cependant important de noter qu'un des problèmes qui se posent avec les réseaux actuels est un problème de perturbations mutuelles entre des différents flux d'une même session de travail coopératif. Ainsi, les flux de données en rafale (et qui ne possèdent donc pas de valeur pic pour leur débit) perturbent la QoS sur les flux audio et vidéo. Un des problèmes actuels consiste donc à séparer les différents types de flux. Les VPN, déjà évoqués, pourraient être utilisés, mais leur aspect statique les rend peu adaptés. Les solutions qui semblent pouvoir résoudre ce problème sont l'introduction de classes de services garanties au niveau des connexions, comme par exemple des classes de services au niveau des SVC[5] si un réseau ATM est utilisé, ou même des classes de services au niveau de connexions IP comme cela est défini dans DiffServ. Toutefois, ces types de services ne sont pas encore disponibles, et cela reste un frein très fort au déploiement massif de ces nouvelles technologies.



[4] VP : Virtual Path : Chemin virtual.
[5] SVC : Switched Virtual Channel : Circuits virtuels commutés.



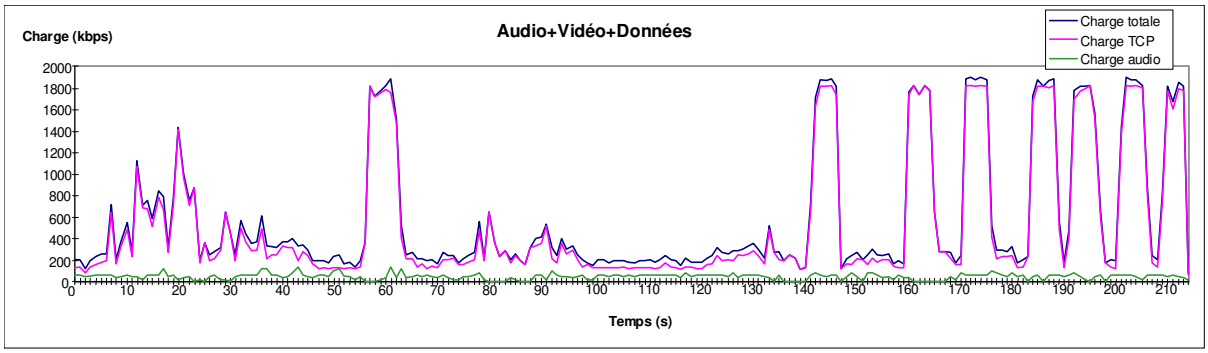


Figure 1. Types de trafics générés au cours d'une session de travail coopératif

4. Exemples de projets

Avec des obligations grandissantes en matière de compétitivité et grâce aux nouvelles technologies d'information et de communication, de nombreux projets dans le domaine de la télé-ingénierie coopérative sont apparus dans un passé récent.

Ainsi, dans le domaine automobile, le projet TEAM (4ème PCRD : Programme Cadre en Recherche et Développement de la Communauté Européenne) a mis en place un système de téléconception entre plusieurs constructeurs et équipementiers européens (FIAT, RENAULT, SIEMENS, ROVER, etc.) basé sur des communications bas débit (RNIS) ou parfois haut débit (ATM) lorsque les infrastructures existaient. Sur ces infrastructures de communication des projets de conception ont été conduits en utilisant des systèmes de visioconférence, des outils de partage d'application, des outils de visualisation distribués temps réels (InPerson, Proshare, etc.). En particulier, le consortium de TEAM s'est beaucoup intéressé à la modification des processus de conception dans un tel environnement distribué.

A la suite, le projet européen CANET [OWE97] [OWE98b] a permis d'obtenir une première évaluation des infrastructures de communication haut débit et des outils de coopération spécifiques pour les activités de conception coopérative dans le domaine automobile. Ce projet a permis d'interconnecter plusieurs sites d'un constructeur automobile (Renault) et d'un de ses équipementiers (Siemens Automotive), en France, Allemagne et Espagne par des liens ATM à 2 Mbps fournis par les opérateurs France Télécom, Deutsche

Telekom, Telefonica et le consortium européen JAMMES[6]. Il a également permis d'évaluer les environnement de travail coopératif dans un environnement hétérogène (en particulier, Communique et TeamConference, Mediacom et MediacomX, et MMC GroupX), et ceci dans le cadre de projets de conception concrets.

Suite à ce type de projets, les constructeurs et équipementiers automobiles créent des réseaux les interconnectant, et leur permettant de faciliter leurs interactions pour la conception des véhicules. Ainsi, le réseau ANX (Automotive Network Exchange) est déjà opérationnel aux Etats-Unis, et le réseau ENX (European Network Exchange) est en cours de déploiement en Europe (en particulier, il repose sur le réseau RAPIDES de l'automobile en France, sur le réseau ANet allemand, et sur leurs homologues anglais et Espagnol). Pour l'instant, ces réseaux sont simplement utilisés pour de la télé-conception asynchrone, mais les expérimentations synchrones sont prévues dans les mois qui viennent.

Le domaine de la conception électronique est également très impliqué dans ce genre d'expérimentations. Ainsi, dans la région grenobloise et sous l'égide du CNET, une plate-forme de conception partagée dans le domaine de la micro-électronique a été installée (projet SCADNET). Cette infrastructure repose sur un réseau ATM métropolitain (C3I2), des bases de données et des outils de travail coopératif asynchrones.

On peut également citer dans ce domaine d'activité le projet VELA de conception micro-électronique à travers le Web de l'Université de Berkeley, qui s'appuie sur des développements propres d'outils de conception universitaires (VIC, VAT, RAT, WB, etc.) et le projet américain GDMD, Globally Distributed Microsystem Design, dans le domaine plus spécifique des microsystèmes, qui a impliqué 8 partenaires pour un coût de 1,3 million de dollars, et qui comme CANET a montré qu'il n'existe pas actuellement de produit générique qui soit parfaitement adapté aux besoins des activités d'ingénierie coopérative distribuée.

Le domaine de l'aéronautique s'intéresse très fortement aussi à cette façon de travailler, et notamment, le projet ENHANCE [AER99] (4ème PCRD) vient de démarrer. Ce projet regroupe la plupart des acteurs du monde de l'aéronautique, et propose de les interconnecter afin d'améliorer les échanges d'informations. Pour l'instant, ce projet envisage surtout de permettre des coopérations asynchrones entre les partenaires dans la conception d'un avion, mais si le besoin se présente au cours du projet, cette infrastructure pourra également être utilisée pour des services synchrones.

Dans un autre domaine qui est celui de la téléformation dans le domaine de l'aéronautique, le projet TOPASE [BAU98] (réponse à l'appel d'offre" Autoroutes de l'information "), a permis d'établir une approche " classe virtuelle " dans la téléformation professionnelle et de fournir des solutions avancées de visioconférence (TSVS et N-TSVS), de partage d'application, de tableau blanc, de gestion de la coopération, etc. sur un réseau ATM à très haut débit (155 Mbps). Ces logiciels ont été conçus au LAAS pour la téléformation, mais de façon suffisamment générique pour pouvoir être utilisés dans des projets à venir qui vont être décrits dans la suite.

Ainsi, plusieurs projets ont été proposés à la suite de ceux cités précédemment. Parmi eux, on trouve de nombreux projets soumis au niveau national (RNRT par exemple) ou au niveau européen (5ème PCRD de la communauté européenne) dans les domaines :

- de la conception de véhicules spatiaux ;

[6] JAMMES était un consortium composé de tous les opérateurs télécom des pays membres de la communauté européenne qui a mené les premières expérimentations d'interconnexion trans-européennes des infrastructures ATM disponibles dans chacun des pays.

- pour la mise en place d'une plate-forme de téléconception dans le domaine de la microélectronique ;
- et également pour la mise en place, dans le domaine de l'automobile, des infrastructures et logiciels de travail coopératifs de base, pour permettre la téléconception coopérative synchrone (ce projet faisant suite aux projets TEAM et CANET, et qui devrait progresser en relation avec le projet ENX).

5. Lacunes et freins

Le verrou le plus évident qui apparaît aujourd'hui, est celui de la "barrière psychologique" qui freine l'usage des outils de travail coopératif synchrone. Ce verrou ne peut être levé qu'en apportant la preuve que l'usage d'une plate-forme coopérative apporte un gain de productivité important, en mettant en œuvre des outils conviviaux simples d'emploi et performants.

Lever ce verrou signifie entre autres pouvoir garantir:

- au niveau du réseau une certaine qualité de service, un certain débit de données, une sécurité des transferts ;
- au niveau de la plate-forme, définir les scénarios d'usage adaptés aux différents métiers.

Les projets pilotes permettront de valider et d'ajuster les options choisies sur ces deux aspects.

Néanmoins, les services de support aux activités coopératives distribuées utilisant les infrastructures de communication et de traitement de l'information affichent un retard considérable par rapport aux capacités technologiques des infrastructures de support. En particulier, dans l'ingénierie coopérative distribuée, il existe un réel besoin de logiciels de travail coopératif génériques, hétérogènes et de bonne qualité. Cette constatation a été faite dans les projets déjà conduits, notamment dans les domaines de l'automobile (CANET), de l'aéronautique (ENHANCE) et du spatial.

Toutefois, les réseaux à hautes performances sont en train de se mettre en place, et leur coût ne sera vraisemblablement plus un obstacle pour des usages professionnels tels que ceux qui nous intéressent, car ils permettent de réelles économies sur les cycles de conception et les frais de déplacements.

Plusieurs problèmes risquent cependant de retarder la mise en œuvre de ce type de services :

- les **difficultés d'intégration** des différents composants logiciels et matériels de la plate-forme. Il faudra donc résoudre tous les problèmes de mise en place de tous les composants (réseaux, logiciels de travail coopératif, logiciels de CAO) qui n'ont pas été conçus pour fonctionner ensemble, mais également offrir des interfaces simples et conviviales pour ne pas rebuter les utilisateurs non obligatoirement spécialistes dans l'informatique et les réseaux de communication.
- l'**hétérogénéité** des réseaux, des configurations et des applications utilisées par les chercheurs et ingénieurs candidats à l'utilisation de ce service.
  Par exemple, concernant les logiciels de partage d'application, les standards graphiques ont une grande importance et sont très souvent source de mauvais fonctionnement. En effet, suivant le type de matériel ou de besoins d'affichage, des librairies graphiques différentes sont utilisées : X, XGL, OpenGL, événements Windows, etc. Aussi, pour un logiciel de partage d'application hétérogène, il faut pouvoir convertir les événements

graphiques d'une des librairies dans le format de l'autre, ce qui est très difficile car ces différentes librairies ne fonctionnent pas forcément sur le même principe.

- les lacunes des logiciels de **gestion des groupes**, de gestion de la **coopération**, de **coordination** et de « **workflow** » (associées à des lacunes en matière de routage multicast), car les communications multipoints restent encore problématiques, et les procédés métier en environnement distribués restent encore à définir.

Ces problèmes font qu'aujourd'hui, même les entreprises qui pourraient tirer un profit immédiat de ces technologies hésitent à franchir le pas. Les quelques expérimentations et démonstrations qui ont été menées ont mis en évidence :

- la **lourdeur de la mise en œuvre**: il faut plusieurs semaines (voire plusieurs mois) avant d'avoir fait toutes les démarches nécessaires pour régler les accès réseaux (locaux et distants), sélectionner un environnement logiciel de travail coopératif adapté (s'il en existe un), et l'installer (cf. les projets TEAM et CANET par exemple).
- la **qualité de service** offerte par les logiciels de travail coopératif, et notamment la qualité sur le flux audio qui est presque systématiquement insuffisante. De même, la **fiabilité ou robustesse** de ces logiciels et environnements est globalement insuffisante.
- la **simplicité d'utilisation** et la **convivialité** discutable des environnements proposés pour un usage professionnel au-delà de deux intervenants.
- L'absence d'un **support** d'aide et de monitoring capable de dépanner les utilisateurs lorsque ceux-ci sont bloqués ou lorsqu'un composant de l'environnement ne fonctionne plus correctement. Les expérimentations passées ont d'ailleurs montré que la plus grande partie du temps avait été perdue à faire fonctionner ces environnements, ou à déterminer, en cas de panne, le composant fautif, pour pouvoir le relancer.

6. Conclusion

En conclusion, le domaine de la télé-ingénierie coopérative se trouve à une période charnière entre :

- des phases de recherche et d'expérimentation et des phases d'utilisation dans le cadre de projets opérationnels,
- des phases où le travail coopératif se faisait exclusivement avec des outils asynchrones et une période où il intègrera en plus des fonctionnalités synchrones,
- une période où les offres des supports de communication font migrer des services bas débits à des services hauts débits, et de services sans QoS à des services avec garantie de QoS.

La plupart des (grandes) entreprises souhaitent une migration rapide vers ses nouveaux modes de travail car ils vont permettre d'accroître sensiblement leur compétitivité, et notamment d'améliorer le facteur QCD de leur production. En effet, en réduisant le nombre de déplacements et en multipliant le nombre d'interactions possibles ainsi qu'en enrichissant leur qualité :

- les frais de missions sont réduits,
- les employés sont beaucoup plus disponibles (car pour une réunion de 4 heures de temps effectif par exemple, ils n'ont pas à perdre plusieurs heures dans les transports),
- les produits peuvent être conçus plus rapidement et sans erreurs,
- il est plus facile de capitaliser sur les compétences de l'entreprise et de son personnel du fait de sa plus grande disponibilité,

- il est plus facile de gérer les connaissances et les compétences au sein de l'entreprise,
- etc.

Mais au-delà, le travail coopératif synchrone permettra également d'améliorer les conditions sociales du travail. Ainsi, en limitant les déplacements des employés, ceux-ci bénéficieront d'un plus grand confort de travail. Mais surtout, en limitant le nombre de déplacements, et en augmentant dans le même temps et naturellement la disponibilité et la flexibilité des employés il sera possible de diminuer la durée du travail de chacun. Les entreprises françaises, confrontées à la loi sur la réduction du temps de travail (35 heures), sont particulièrement attentives à ce genre d'avantages que procure l'émergence du travail coopératif synchrone.

7. Références

[AER99] Aérospatiale Matra, « ENHANCE : ENHanced AeroNautical Concurrent Engineering) », à l'URL http://www.avions.aerospatiale.fr/enhance/index.html, 1999

[BAU98] V. Baudin, S. Owezarski, J.L. Cames, T. Villemur, P. Owezarski, M. Diaz, J.F. Schmidt, « Conception d"un environnement de télé-formation synchrone – Projet TOPASE », 1ère Conférence scientifique sur les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication dans la Formation d'ingénieurs et dans l'Industrie (NTICF'98), pp 53-64, Rouen, France, 18-20 Novembre 1998

[OWE97] P. Owezarski, D. Wartelle, P. Perrot, G. Ségarra, S. Guillouet, K. Drira, A. Meftah, M. Diaz, « Assessment methodology of new technologies for collaborative automotive design », 2nd International distributed conference on network interoperability, Madeira, Portugal, June 16-18th, 1997

[OWE98a] P. Owezarski, S. Guillouet, « CSCW applications in engineering environment » European workshop on concurrent engineering : trends and perspectives, Paris, March 12th, 1998

[OWE98b] P. Owezarski, « Le projet CANET (Collaborative Automotive NETwork) : Utilisation des nouvelles technologies de l'information pour la conception coopérative dans le domaine de l'automobile », Lettre du LAAS N° 20, aussi disponible à l'URL http://www.laas.fr/~owe/canet/canet.html, Décembre 1998