

UN MODELE DE COMMUNICATION PERMETTANT DE REALISER EFFICACEMENT LA PRESENTATION MULTIMEDIA

Paul Martin LOLO

Ecole Nationale Supérieure Polytechnique

Tel : (237) 22.45.47, Fax: (237) 23.18.41

Bp. 8390 Yaoundé, Cameroun

Résumé

Dans cet article nous présentons une approche de spécification des précisions temporelles permettant de réaliser la composition et la présentation des informations hétérogènes multimédia. Cette approche est basée sur la notion de *séquence temporelle* [1] et sur la définition d'intervalles appelés "tranches de temps" [13] dans l'échelle universelle U ou dans une échelle T prise dans un système d'information particulier. Un modèle de communication et son implémentation sont également proposés, il est basé sur l'écriture d'opérateurs de synchronisation qui autorisent la prise en compte de deux processus concurrents (Préparation et Restitution) dans toute opération de composition des objets. Cette démarche a pour but de faciliter l'intégration et la synchronisation temporelle des objets hétérogènes dans le contexte de station de travail opérant sur des systèmes d'information multimédia distribués.

Mots-clés: Système d'information multimédia, systèmes distribués, synchronisation.

Abstract

In this paper we propose a technique for formally specifying and structuring temporal multimedia objects. This technique is based on both *temporal sequence* notion [1] and the definition of temporal intervals [13] that can be specified into the universal time scale U or into the multimedia information system scale we call T . Next we propose a communication model which indicates multimedia objects synchronisation in a manner which preserves the temporal requirements of the initial specification. This approach is useful to facilitate temporal objects synchronization and presentation on work stations for distributed multimedia information systems.

Keywords : Multimedia Information systems, Distributed systems, Synchronization.

1. INTRODUCTION

Les applications potentielles du multimédia sont nombreuses. Un exemple typique de ce type d'application est le catalogue électronique : des clients utilisent l'ordinateur pour visualiser les articles d'un catalogue de vente, et simultanément ils écoutent des commentaires fournis par un dispositif audio, ils peuvent également lire les prix affichés à l'écran et suivre des démonstrations vidéo de vendeurs... Un tel service nécessite trois types de données de base : le texte, l'image et le son. D'autres exemples existent dans les domaines aussi variés que la médecine, la géographie, l'éducation... Dans la plupart de ces applications, les données doivent provenir de sources multiples, elles sont soit créées, soit recherchées dans une base de données pour être combinées avant d'être présentées à l'utilisateur. Le processus qui consiste à combiner les données de cette manière s'appelle la composition [2]. Grâce à l'avènement des fibres optiques et aux récents progrès de la technologie des réseaux de transmission à haut débit (RNIS), ces données pourront désormais provenir de bases de données réparties géographiquement et véhiculées à travers des réseaux publics ou privés, donnant ainsi la possibilité de créer de véritables systèmes d'information multimédia (MMIS) [3].

La notion de temps est présente dans la quasi totalité de ces réalisations. En effet le processus de composition des objets multimédia peut revêtir deux formes : la composition spatiale (hors temps), mais aussi la composition temporelle.

La composition spatiale combine les objets dans l'espace (superposition, incrustation). L'*Office Document Architecture* (ODA) [3], est une approche tendant à standardiser l'intégration des objets liés par des relations spatiales pour la génération des documents électroniques ; développée par l'*European Computer Manufacturers Association* (ECMA) en collaboration avec l'*International Telegraph and Telephone Consultative Committee* (CCITT) [9] en 1985. L'*International Standard Organisation* (ISO) [5] a ratifié cette proposition comme faisant partie de l'*Open Systems Interconnexion* (OSI) qui permettra désormais aux utilisateurs de réseaux d'échanger des documents électroniques en utilisant un format standard.

La composition temporelle introduit un ordonnancement dans la présentation des objets, dans ce cas, il est nécessaire de pouvoir synchroniser des flux d'information résultant d'objets de différentes granularités. Ces objets peuvent être de type continu (vidéo, audio) ou discret (image fixe, texte, graphisme). Trois niveaux d'intégration des objets multimédia ont été proposés dans [12] : le niveau physique, le niveau services et le niveau application. On peut les résumer en disant que le niveau physique prend en charge les mécanismes de transport des flux de données élémentaires et leur synchronisation, le niveau services se charge de la composition des objets, tandis que le niveau application assure l'interface entre l'homme et la machine et doit assurer la présentation des objets à l'utilisateur. La conception des applications multimédia pose néanmoins deux autres types de problèmes : la synchronisation des objets au niveau

application, et la prise en compte de l'interaction avec l'utilisateur. Ces deux aspects nous intéressent particulièrement dans cet article que nous avons divisé en deux parties : La première partie présente en guise de rappel, des notions relatives à la composition des objets multimédia, la deuxième partie s'appuie sur ces notions pour proposer une technique de spécification des précisions temporelles basée sur la notion de séquence temporelle. Un modèle de communication et son implantation sont également proposés, il est basé sur l'écriture d'opérateurs de synchronisation qui autorisent la prise en compte de deux processus concurrents (Préparation et Restitution) dans toute opération de composition des objets. L'intérêt de cette approche réside en ce qu'elle offre la possibilité de faciliter l'intégration et la synchronisation temporelle des objets hétérogènes dans le contexte de stations de travail opérant sur des systèmes d'information multimédia distribués.

2. Composition des objets multimédia

2.1. Objet multimédia

Un objet est une unité d'information simple ou complexe pouvant être distribuée à travers un système d'information multimédia [4]. A chaque type de média correspondent plusieurs niveaux de décomposition des objets. Par exemple, l'unité de base d'un objet de type texte est le caractère, mais des objets plus complexes tels que le mot, la phrase, le paragraphe ou le document peuvent être composés à partir des objets de base.

| Médium | Unité atomique | Unité intermédiaire | Cadre | Objet composite |
|-----------|----------------|---------------------|----------|-------------------------|
| Image | Pixel | | Image | |
| Vidéo | Pixel | Trame | Image | Segment Film |
| Graphique | Vecteur | | Polygone | Dessin |
| Audio | Son | Phoème Mot | Phrase | Paragraphe Discours |
| Texte | Caractère | Mot | Phrase | Paragraphe Documents |

Fig 1: Niveaux de décomposition des objets

2.2. Composition spatiale

La composition spatiale des objets multimédia procède de l'assemblage d'objets multiples en une même entité. c'est le cas par exemple lorsqu'on réalise une incrustation de texte sur une image fixe.

Pour de telles réalisations l'ordre dans lequel les objets sont présentés à l'utilisateur n'a aucune importance, et il n'y a aucune relation temporelle entre les éléments de données qui entrent dans la composition de l'entité.

La composition spatiale pose essentiellement le problème de l'emplacement des objets qui participent à la formation de l'entité, leur volume et leur sens de rotation. Une standardisation de la logique de représentation des documents multimédia "hors temps" a été décrite dans [5].

2.3. Composition temporelle

La composition temporelle nécessite que soit pris en compte un ordonnancement dans la présentation des objets multimédia, le processus de composition doit également prendre en compte une forme particulière de coopération entre des systèmes qui n'ont pas toujours de lien interactif entre eux. Exemple une bande vidéo est reproduite en même temps qu'une bande audio qui fournit des messages et des commentaires, le composant vidéo doit afficher 30 trames/s à mesure que les images sont générées, pendant l'affichage d'une trame, le composant vidéo ne dispose d'aucun moyen lui permettant de réaliser la synchronisation avec les séquences audio correspondantes sur le dispositif audio. Une forme particulière de coopération est donc nécessaire pour satisfaire les exigences de "montage audiovisuel" voulues pour que la reproduction du son soit synchronisée avec celle des images.

En cinéma comme en vidéo plusieurs étapes sont nécessaires pour réaliser ce type de montage par exemple la synchronisation du son et de l'image, on réalise d'abord la sonorisation du montage, celle-ci étant faite, le mixage peut être réalisé par séquences qui sont montées pour obtenir la bande finale. La sonorisation du montage étant enregistrée sur une piste, la synchronisation consiste à enregistrer sur une autre piste des impulsions qui commanderont le passage des séquences lorsque le montage sera projeté. Ce procédé devient inutilisable dans le cas des applications interactives multimédia pour lesquelles la continuité des séquences n'est enregistrée nulle part. Elle doit être créée à mesure que les objets sont générés. La recherche d'un modèle de communication inter-média trouve ici sa justification.

2.4. Relations temporelles

Le serveur multimédia doit établir des liens temporels et respecter les délais imposés entre des objets pour les besoins de leur présentation à l'utilisateur. Fondamentalement, deux types de relations temporelles peuvent être définies entre des objets d'une application multimédia : des relations continues, définies sur des objets de type continu (vidéo, audio), des relations synthétiques, définies sur des objets de type discret (image fixe, texte). La relation entre objets audio et vidéo lors de la reproduction de la voix accompagnée de l'image est continue ou isochrone [6], parce que les flux de données images sont produits, transmis et présentés à des intervalles de temps fixes et réguliers (1/30ème seconde).

La relation temporelle créée artificiellement entre objets qui ne nécessitent pas de synchronisation en continu est dite synthétique [7]. La composition du texte avec l'image conduit à ce type de synchronisation. On retrouve des exemples de composition basée sur des relations synthétiques chaque fois que des objets multimédia sont créés pour être stockés dans une base de données. Le stockage et la recherche des objets de ce type doivent être facilités par un système de gestion de base de données (SGBD) orienté objets, capable de manipuler des objets complexes et leurs attributs. Nous estimons qu'un tel système doit également être capable de mémoriser des informations permettant de réaliser la composition en respectant les précisions temporelles définies sur les objets. Il semble donc nécessaire de pouvoir spécifier ces précisions temporelles afin de faciliter leur implantation dans la base de données.

3. Précisions temporelles

Toute modélisation des précisions temporelles doit s'appuyer sur le choix d'une échelle de représentation : ce choix conduit à représenter le temps absolu (échelle U) par une horloge, ou à partitionner l'échelle T du système d'information en tranches de temps de manière à pouvoir exprimer des précisions temporelles sur les objets du système d'information.

3.1. Echelle de représentation

Les tentatives connues de formalisation de la notion de temps dans un système d'information [8], [10], [15], [16] distinguent généralement le temps exprimé par l'utilisateur sur une échelle universelle continue, du temps utilisé dans le système d'information et qui émane de nos instruments de mesure. Les horloges réalisent une partition de l'échelle universelle U sous la forme d'intervalles. L'échelle de temps du système d'information T est considérée comme l'image dans N (ensemble des entiers relatifs) de l'échelle U par une application qui, à chaque intervalle de la partition

associe un numéro d'ordre relativement à l'origine de U. Les points considérés appartiennent à l'échelle de temps T du système d'information. Ces points ont valeur de date, et un intervalle entre deux dates est appelé une *tranche de temps* dans l'échelle du système d'information.

3.2. Spécification des précisions temporelles

La technique de sépcification proposée ici pour les précisions temporelles consiste à choisir une échelle de représentation sur laquelle on définit le terme général d'une séquence temporelle d'éléments de données multimédia en tenant compte de l'état courant du système. Le formalisme retenu pour expliciter la notion d'état courant du système est celui des séquences temporelles [1].

3.2.1. Séquences temporelles

Nous avons mentionné (cf.§ 2.3) que la composition temporelle induit un ordonnancement dans la présentant des objets multimédia. De ce fait il convient de structurer les données qui composent ces objets de manière à associer à un ensemble fini d'objets, une suite d'instants auxquels auront lieu leur présentation à l'utilisateur. Ceci signifie qu'on a attribué à chaque objet une suite d'instants significatifs séparés par des tranches de temps préalablement choisies pour les besoins de la composition. J.P. Finance [1] propose un cadre formel utilisable pour spécifier la notion intuitive d'état courant du système qui s'exprime comme suit : étant donnés deux ensembles E et C tels que:

E : ensembles d'objets multimédia,

C : ensemble d'instants définis sur l'échelle T du système à modéliser. On appelle séquence temporelle de type E une application

$S : N \rightarrow E \times C$ telle que pout tout i et j dans le domaine de S

$i < j \rightarrow (\text{instant}(s(i)) < \text{instant}(s(j)))$

Une telle séquence peut être exprimée sous la forme isomorphe, constituée d'un couple de séquences ayant même domaine :

SV : N \rightarrow E appelée séquence des objets de S

SC : N \rightarrow C appelée séquence des instants de S.

ces deux séquences peuvent être schématisées sur l'échelle T du système d'information (Fig 2).

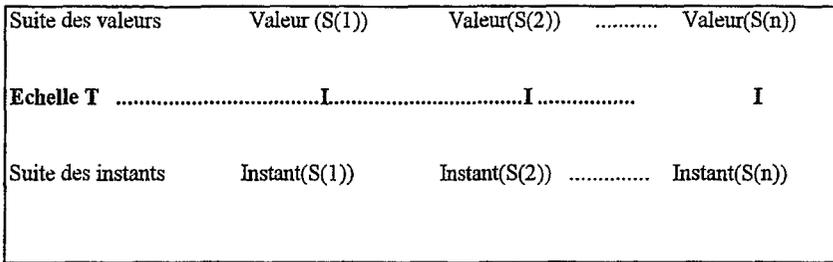


Fig 2: Séquence temporelle sur l'échelle de temps du système d'information

La succession de deux objets dans le temps peut se dérouler simultanément ou séquentiellement, en partant de ces deux alternatives certains auteurs ont développé l'idée qu'il est possible de combiner de différentes manières la succession de deux objets dans le temps. Par exemple C. Hamblin dans [8] propose une logique des intervalles qui peut être appliquée à la synchronisation : étant donnés deux intervalles de temps, il existe treize manières différentes de les combiner. En revanche T.D Little et A. Ghafoor [7] montrent que sept relations seulement suffisent pour spécifier la composition de deux objets dans le temps. Cependant si on considère la notion de séquence temporelle décrite ci-dessus on constate que la relation temporelle sur les objets multimédia se déduit de la relation d'ordre sur les instants auxquels ces objets doivent être présentés à l'utilisateur. Il semble par conséquent plus commode de séparer la définition des objets de la spécification des précisions temporelles. De cette manière les relations temporelles ne portent plus sur les objets multimédia (comme dans les travaux évoqués ci-dessus), mais sur le temps. Car ce dernier dispose d'une structure autonome, qui ne dépend que du choix de l'échelle de représentation. Il nous semble néanmoins nécessaire d'intégrer dans le processus de composition les liens qui existent entre les objets et le temps c'est le rôle du modèle de communication [13].

3.2.2 Modèle de communication

L'examen des actions qui conduisent à la présentation des objets montre qu'il existe deux processus cycliques dans toute activité de composition : la Préparation et la Restitution, ayant la caractéristique d'être non bloquants [13]. Cela signifie que l'exécution d'une application de présentation d'objets multimédia peut se poursuivre avant que ne soit complètement terminée la restitution des objets à l'utilisateur.

Ainsi celle-ci doit se dérouler parallèlement à l'interprétation de l'application et induit un parallélisme des fonctions de présentation. Ce problème peut être représenté de la manière suivante : un processus **PrepObj** extrait une suite s d'objets d'une base de

données dont les attributs permettent de calculer une suite C d'instants associés, et un processus RestObj() assure la présentation des objets à l'utilisateur, en respectant les précisions temporelles définies sur ces objets. Le problème ainsi posé définit fondamentalement un système Producteur-Consommateur de communication entre les processus de Préparation et de Restitution des objets. Dès lors il suffit de définir un mécanisme permettant de synchroniser ces processus, sachant que : le processus RestObj va consommer une séquence temporelle s produite par un autre processus PrepObj à partir d'une séquence temporelle r extraite d'une base de données. Ces deux processus se communiquent en mode Producteur-consommateur en utilisant un tampon commun (Fig 3). La synchronisation est réalisée grâce à des conditions placées aux points de synchronisation. Le mécanisme mis en oeuvre pour réaliser cette synchronisation est celui des "rendez vous". RestObj et PrepObj sont appelés des opérateurs de synchronisation.

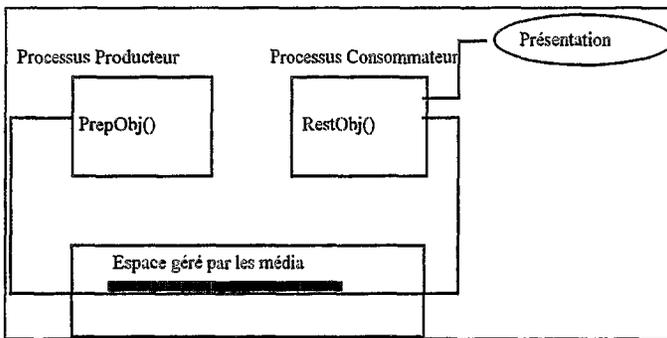


Fig 3: Modèle de composition

Un opérateur de synchronisation est une unité de programme exécutable en parallèle avec d'autres unités du même type ou avec l'unité de programme principale d'une application multimédia. Les opérateurs de synchronisation sont décrits tels qu'ils comportent outre les structures de base de l'algorithmique :

- des points de synchronisation permettant de réaliser la communication et la synchronisation entre le processus,
 - des signaux, émis aux points de synchronisation pour matérialiser l'accomplissement d'une action spécifique, et de mettre en oeuvre le mécanisme de rendez-vous,
 - des conditions de synchronisation permettant l'utilisation de tous les opérateurs logiques (U, >, >, /, = ...), ainsi que des précisions temporelles (temporisation, délai, période...) sur les données du système d'information multimédia.
- La forme générale d'une spécification est présentée ci-après.

Processus de préparation

PrepObj(R: Seq, bd_ptr)

sem1, sem2, semP, semR : Sémaphore
Condition_Synchro : Bool
{sem1: Tampon vide. sem2: Tampon plein}

Début

: Point de Synchro PrepObj
: : Si condition_Synchro = Vrai Alors
: : PrepObj.Extraire (bd_ptr, R) ;
: : PrepObj.Remplir (Tampon) ;
: : Signal (sem2);
: : Wait (sem1);
: : Fin
: : Signal (semP); {signale le passage du processus de préparation}
: : Wait (semR); {mise en attente du processus de préparation}

Fin Synchro PrepObj

:
: <Suite_de_PrepObj>
:

Fin

Processus de Restitution

RestObj(S: Seq, média_ptr)

sem1, sem2, semP, semR: Sémaphore
{sem1: Tampon vide. sem2: Tampon plein}

Début

: Point de Synchro RestObj
: : Si condition_Synchro = vrai Alors
: : Wait(sem2)
: : RestObj.Vider (Tampon)
: : RestObj.Présenter (média_ptr, S) ;
: : Signal (sem1) ;
: : Fin
: : Signal (semR); {réactivation du processus de préparation}
: : Wait (semP);

Fin Synchro RestObj

:
: <Suite_de_RestObj>

Fin

Les sémaphores [18] sem1 et sem2 sont initialisés à zero pour réaliser l'exclusion mutuelle de l'accès au tampon et obliger la préparation à commencer en premier. La logique de cet algorithme exprime que tout processus de préparation va exécuter les actions suivantes :

- Remplir le Tampon
- Signaler qu'il est plein
- Attendre qu'il soit vide

tandis que les processus de restitution vont exécuter les actions suivantes :

- Attendre que le tampon soit plein
- Vider le tampon
- Signaler que le tampon est vide.

Le mécanisme de rendez-vous entre la préparation et la restitution signifie que le premier processus arrivé au point de synchronisation doit attendre l'autre. Les sémaphores semP et semR ont pour but de mettre en oeuvre ce mécanisme de rendez-vous, qui impose un ordre de précédente dans le temps logique sur la trace temporelle des processus de préparation et de restitution des objets multimédia, liés par des relations synthétiques.

4. Implémentation du modèle

Nous présentons dans cette section un exemple d'implémentation des processus (Préparation et Restitution) permettant de mettre en oeuvre le modèle de communication présenté dans la section précédente.

4.1 Environnement d'expérimentation

On se place dans le contexte d'un poste de travail de type "Work station" où il est possible de manipuler communiquer et visualiser des données hétérogènes de types variés (vidéo, audio, texte et graphisme). De telles informations nécessitent en effet d'être synchronisées au niveau de leur présentation à l'utilisateur. Pour réaliser un tel système, d'autres éléments fondamentaux sont également nécessaires, notamment un système de gestion des objets (SGO) et un réseau de communication (même local) permettant d'accéder à des sources d'information multiples.

Nous avons tenté de réaliser cet environnement sur un IBM/PS2 équipé de l'AIX et d'un CD-ROM. Nous avons choisi ce système pour quatre raisons essentielles :

- Il permet la création de processus (Call by name), avec des possibilités d'exécution simultanée des tâches en avant et arrière plan;
- Il dispose de primitives de gestion des processus (Fork(), Exit, Wait()), permettant de réaliser la synchronisation;

- Il dispose de primitives de gestion du temps, permettant le déclenchement ou le relachement d'un "timer" ou de signaux associés (SIGALARM) lors de l'exécution de processus:

- Il permet d'utiliser des tubes de communication pour l'échange d'informations inter-processus.

4.2 Structure des processus

Pour représenter la complexité des objets multimédia nous avons affaire à des objets complexes dépendants du temps, par conséquent nous faisons appel à des processus, ainsi un objet multimédia est représenté par l'ensemble des processus qu'il faut activer pour obtenir sa présentation. Les processus qui coopèrent pour la présentation des objets à l'utilisateur sont de deux sortes: les processus de préparation et de restitution. Un processus est construit en combinant des structures séquentielles, parallèles et hiérarchiques. Il peut être obtenu à partir de sous-objets appelés descendance (Fils). Un processus peut donc admettre des processus Fils. La relation hiérarchique processus(P) est_père_de Processus(F) indique que la durée de F est incluse dans celle de P. Elle comprend également l'ordonnancement temporel des processus de préparation et de restitution des objets attachés aux processus F et P (Fig 4).

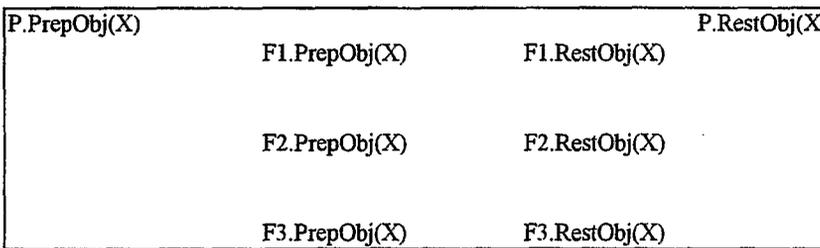


Fig4 : Séquence d'exécution des processus

Prenons par exemple une structure hiérarchique simple, dans laquelle un processus P a trois fils F1, F2, F3, cette lignée sera indiquée par $Fils(P) = (F1, F2, F3)$, deux modes d'ordonnancement sont alors définis : un mode d'ordonnancement séquentiel et un parallèle (Fig 5). Dans le mode séquentiel, les trois fils sont simplement juxtaposés dans le temps, le premier s'activant au départ de P et les autres au moment où celui qui le précède s'achève. Dans le mode parallèle, une liste de listes des processus fils doit être activée.

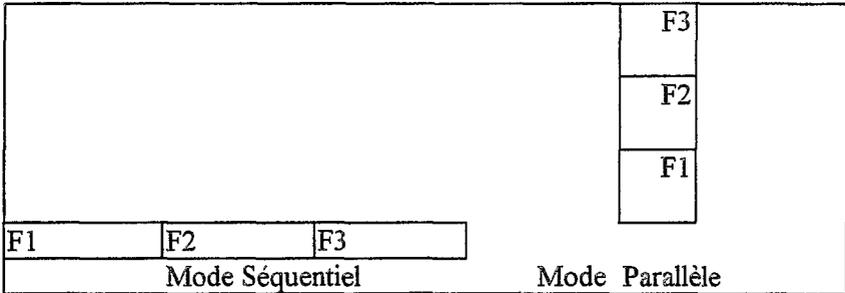


Fig 5: Mode d'exécution des processus fils

La séquence d'exécution des processus Fils (Fig 4) peut donc être interprétée suivant deux modes différents (Fig 5).

5. CONCLUSION

Nous avons voulu présenter dans cet article une approche de synchronisation temporelle des objets multimédia. Il s'agit d'une synchronisation de haut niveau (niveau application) par opposition aux approches qui traitent de la synchronisation des flux élémentaires. Le modèle proposé est une application au phénomène de présentation multimédia d'une technique bien connue celle de la communication des processus en mode producteur-consommateur. Il a toutefois le mérite de mettre un accent sur la séparation en deux processus concurrents toute opération de composition des objets de présentation multimédia, ce qui apporte une certaine originalité par rapport aux autres travaux qui se bornent à percevoir la présentation multimédia en terme de lecture et d'affichage des informations. Nous montrons ainsi que cette dernière approche est insuffisante surtout lorsqu'il s'agit d'informations hétérogènes. Sur le plan expérimental la mise en oeuvre du mécanisme de communication a été réalisée sur un système IBM/PS2 équipé d'un AIX avec CD-ROM, en utilisant des tubes de communication et des primitives de gestion de signaux.

6. Bibliographie

- [1] J.P. Finance, J. Array "Towards a methodology to specify and construct current programmes", rapport de recherche, CRIN, Univ. de Nancy, 1980.
- [2] T.D.C. Little, A. Ghafoor, "Network considerations for Distributed multimedia objects composition and communication". IEEE Network magazine Nov 1990.
- [3] M.H. O'Docherty C.N Daskalakis, "Multimedia Information Systems-The management and semantic Retrieval of all electronic data types". The computer Journal vol 34 N°3, 1991.
- [4] R. Steinmetz "Synchronization properties in multimedia Systems". IEEE J. on Sel. areas in communications, vol 8, N°3 April 1990.
- [5] International Organization for Standardization. ISO document N° 8613, ISO Geneva, Switzerland, Mars 1988.
- [6] C. Nicolaou "An architecture for real-time multimedia communication systems", IEEE, J. on sel. areas in communications vol. 8 N°3 April 1990.
- [7] T.D.C. Little, A. Ghafoor "Synchronization and storage models for multimedia objects", IEEE J. on sel. areas in communications vol. 8 N°3 April 1990.
- [8] C. Hamblin "Instants and intervals", Proc of the 1rst conference of the INTL Sco. for the study of time, J.T. Fraser et al. Ed. Springer-verlag NY 1972, pp 324-331.
- [9] CCITT Recommendations, Message handling systems, X400, X401, X420, X430, ITU, ITTCC, Geneva Switzerland 1985.
- [10] J.F. Allen "Maintening knowledge about temporal intervals", Communication of ACM Nov. 1983, vol.26, N°11 pp 832-843.
- [11] A. Boulour et Al. "The role of time in information processing", ACM Sigmod record, Vol 12, N°3, 1982.
- [12] J.S. Sventek "An architecture for supporting multimedia integration" Proc. IEEE computer society Office Automation Symposium, Apr. 1987 pp 45-56.

P.M LOLO

- [13] P.M. LOLO "Un modèle orienté objets et un outil d'aide à la conception des applications audio-visuelles". Thèse de Doctorat du CNAM, Mars 1990, Paris, France.
- [14] X. Castellani. "Méthode générale d'analyse des applications informatiques (MCX). 6ème édition Masson 1987".
- [15] H. Habrias "Analyse des notions relatives au Temps" . Informatique et Gestion N° 130 Janv. 1982.
- [16] C. Rolland. O. Foucualt. G. Benci. "La méthode Remora". Ed. Eyrollles 1988.
- [17] R. Snodgrass and I. Ahn : " A taxinomy of time in data Bases" in Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. Management Data. San Francisco. CA May 1987. pp.236-246.
- [18] E.W. Dijkstra "Solutions of problems in concurrent programming control". in comm. ACM. vol 8. Sept. 1965. P. 569.

| Médium | Unité atomique | Unité intermédiaire | Cadre | Objet composite |
|------------------|-----------------------|----------------------------|--------------|-------------------------|
| Image | Pixel | | Image | |
| Vidéo | Pixel | Trame | Image | Segment Film |
| Graphique | Vecteur | | Polygone | Dessin |
| Audio | Son | Phoème Mot | Phrase | Paragraphe Discours |
| Texte | Caractère | Mot | Phrase | Paragraphe Documents |

Fig 1: Niveaux de décomposition des objets