

LaBRI

Laboratoire Bordelais
de Recherche en Informatique

ETUDE ET EVALUATION D'ARCHITECTURES
DE RESEAUX DE TRANSITION
D'IMAGES VIDEO

par

Bernard COUSIN and L. KAMOUN

N° 89-121

C.N.R.S.

Unité de Recherche

Associée n° 726



ETUDE ET EVALUATION D'ARCHITECTURES DE RESEAUX DE TRANSMISSION D'IMAGES VIDEO

COUSIN Bernard*, KAMOUN Lotfi **

ENSERB***
351 Cours de la Libération
33405 Talence cedex
FRANCE

Résumé

Nous nous intéressons aux réseaux locaux large bande pour la transmission d'images sur fibres optiques. Nous proposons de nouvelles architectures de réseaux de vidéocommunication utilisant des matrices à commutation électronique. L'architecture de la matrice permet la réalisation de plusieurs topologies. Nous proposons un outil logiciel d'évaluation de ces différentes topologies. Nous étudions deux topologies de base : les topologies linéaire et circulaire. L'évaluation montre que la topologie linéaire est meilleure que la topologie circulaire.

Logiquement, les réseaux de vidéocommunication se composent de deux sous-réseaux : un sous-réseau pour la transmission d'images et l'autre pour la transmission des commandes. Le premier prototype de l'implantation de notre réseau utilise deux sous-réseaux indépendants et spécifiques : le sous-réseau image et le sous-réseau commande que nous proposons d'intégrer sur le même support de transmission. Nous étudions deux types d'architectures. Le premier type utilise une technique de multiplexage en fréquence : un canal est assigné à la transmission de commandes, les autres à la transmission d'images. Le second type utilise en plus une technique de multiplexage temporel : chaque canal véhicule des commandes incrustées dans les images. Nous concluons que, relativement à l'état de l'art des standards vidéo, le premier type restera meilleur que le deuxième jusqu'à la naissance d'un standard universel.

Abstract

We are interested in wide band local area network for image transmission on fibre optic. We study new architectures for videocommunication networks using electronic switching matrices. The matrix architecture enables numerous topologies to be built. We propose a software tool to evaluate these different topologies. We study two main topologies : the linear and the circular topologies. The evaluation shows the linear topology is better than the circular topology.

Logically, videocommunication networks include two subnetworks : one for image transmission, and the other for the command transmission. The first prototype implementation of our network uses two independent and specialized networks. We propose to integrate image and command subnetworks on the same medium. We propose two classes of architecture. The first class uses only a frequency division multiplex : a channel is assigned to the command transmission, the remaining channels are used for the image transmission. The second class includes a time division multiplex technique : on each channel the commands are mixed within the images. We conclude that, in relation of the state of art in video standards, the first class is better than the second until an universal video standard is born.

Mots-clés

Réseaux locaux, architecture, transmission d'images vidéo, topologie, fibres optiques.

* LaBRI : Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique

** IXL : Laboratoire pour l'intégration des composants et des systèmes électroniques

*** Ecole Nationale Supérieure d'Electronique et de Radioélectricité de Bordeaux

1. INTRODUCTION

Le projet RETINE concerne la conception de Réseaux Locaux pour la diffusion d'images. Le développement de ces réseaux est nécessaire pour assurer le partage des équipements lourds d'acquisition et de traitement d'images. Ces réseaux doivent supporter les transmissions d'images vidéo-analogiques et d'images numérisées. L'image numérisée implique la transmission d'une très grande masse d'information. Ainsi le développement de réseaux locaux à très haut débit est vital pour la transmission interactive et en temps réel. Le support physique privilégié de transmission de ces réseaux locaux est la fibre optique. Actuellement un câble de 10 fibres optiques dessert le campus universitaire de Bordeaux sur une longueur d'environ 7 kilomètres. Le réseau pourra ensuite être étendu aux zones industrielles et centres hospitaliers régionaux voisins, les distances pouvant atteindre 20 kilomètres.

Le projet RETINE comprend trois réseaux différents : un réseau numérique à intégration de services (RNIS), un réseau local à très haut débit, et un réseau de vidéocommunication.

Le premier réseau est baptisé Carthage (1). C'est un réseau numérique à intégration de services avec un débit de 40 Mbits/s. Il intègre les communications numériques de données et de la parole. Il est opérationnel, il dessert 500 terminaux informatiques et assure la fonction d'autocommutateur téléphonique de l'Université.

Le second réseau est en cours d'étude. C'est un réseau à très haut débit pouvant atteindre 560 Mbits/s. Il est conçu pour la transmission d'images numérisées de haute définition entre des systèmes hétérogènes(2).

Le troisième réseau est présenté ici. C'est un réseau utilisant des matrices à commutation électronique reliées entre elles par fibres optiques via des coupleurs optoélectroniques pour la transmission d'images vidéo. Ce réseau est complètement conçu dans notre laboratoire (3).

Les matrices de commutation permettent de réaliser de nombreuses topologies. Nous proposons donc un outil d'évaluation de ces différents topologies (4). Cet outil explore toutes les configurations d'une topologie, et détermine ainsi son adéquation.

Deux aspects de cette conception seront discutés dans ce papier après une courte présentation (2^{ème} partie) : l'évaluation des deux topologies circulaire et linéaire (3^{ème} partie), et l'étude de l'architecture du système de commandes permettant le contrôle à distance des équipements vidéo (4^{ème} partie).

2. PRESENTATION

Lorsque la distance entre les noeuds d'un réseau est grande (environ 2 km dans le cas de RETINE), et si on veut atteindre des débits de transmission très élevés, le choix du support de transmission est primordial. Comparée à d'autres supports de transmission la **fibre optique** a l'avantage d'avoir une bande passante très large, un coefficient d'affaiblissement très faible, une immunité totale aux interférences électromagnétiques et une isolation galvanique entre les équipements d'extrémité. Cependant, les pertes dans le canal de transmission et dans les connecteurs entraîne un affaiblissement très important de la puissance, déjà faible, émise par les sources optiques. Ainsi une électronique sophistiquée est nécessaire pour le traitement du signal reçu. Nous utilisons donc la fibre optique associée à un choix judicieux d'émetteurs et récepteurs optiques et d'amplificateurs à faible bruit, pour connecter entre elles les stations du réseau.

La Figure 1 compare les bandes passantes nécessaires à la transmission d'images vidéo et à la transmission d'images numérisées. La bande passante de la transmission numérique est obtenue en appliquant le théorème de Nyquist, la résolution de conversion analogique-numérique (nombre de bits par pixel), et le codage 4/5 (utilisé notamment pour le protocole FDDI) pour la transmission .

Malgré l'existence de techniques de compression, la transmission numérique nécessite une bande passante plus large que la transmission analogique. La transmission d'images vidéo nécessite une bande de l'ordre de 4 à 30 MHz, alors que la transmission en temps réel d'images numérisées de haute définition (non comprimées) nécessite une bande de 200 à 2100 MHz. De

plus, les réseaux numériques à haut débit nécessitent des technologies très rapides et coûteuses. Par conséquent, la première étape du projet RETINE est la conception et la réalisation d'un réseau analogique pour la diffusion d'images vidéo, la seconde étape étant celle d'un réseau numérique.

La diffusion de l'information à toutes les stations soulève les problèmes de distribution de la lumière et de perte de puissance lors du passage par un noeud du réseau. Ces problèmes sont extrêmement difficiles à résoudre pour la topologie en bus (10). Dans cette topologie, des coupleurs spécifiques sont nécessaires pour diviser/injecter la puissance optique entre le récepteur/émetteur d'une station et la station suivante. L'utilisation de ces coupleurs, encore coûteux, implique en plus une perte de puissance optique considérable si le nombre de stations est important et si le pourcentage de puissance déviée et absorbée par chaque récepteur est important. Pour ces raisons techniques et économiques, nous avons choisi une transmission optique point à point.

Notre réseau de vidéocommunication doit assurer de multiples fonctions comme:

- l'accès aux banques d'images (disque optique, magnétoscope, ...) ;
- la connexion de toutes les sources d'images (télévision, canal satellite, caméra, ...);
- la diffusion des images aux puits d'images;
- le traitement analogique ou numérique des images;
- le contrôle à distance des équipements de vidéocommunication.

Ces fonctions permettent au réseau de vidéocommunication de supporter les services suivants :

- vidéo conférence ;
- distribution vidéo : sélection automatique et à distance de programmes de diffusion ;
- enseignement assisté par vidéo ;
- surveillance à distance par vidéo ;
- traitement interactif d'images ;
- etc..

Pour assurer ces services, nous proposons l'architecture générale suivante (Figure 2). Le réseau est formé de **matrices** de commutation placées dans différents noeuds. Ces matrices sont interconnectées par fibres optiques via des coupleurs optoélectroniques. Ces coupleurs convertissent les signaux optiques en signaux électriques, et vice versa. Les équipements vidéo sont interconnectés à travers les matrices.

L'architecture de notre réseau permet l'obtention de plusieurs topologies (Figure 3). Nous proposons d'étudier et d'évaluer différentes topologies de réseaux. Ces topologies sont évaluées en utilisant le logiciel TOPE.

3. EVALUATION

3.1 Description

Nous définissons la topologie $T = \langle S, F \rangle$ à évaluer, par l'ensemble S de ses **sites**, et l'ensemble de ses **liens** physiques représenté par la fonction F . La fonction F définit le nombre de liens reliant un couple de sites. Elle est définie de $S \times S$ vers \mathbb{N} , où \mathbb{N} est l'ensemble des entiers naturels.

Dans notre modèle, chaque lien est unidirectionnel. Si le réseau réel est constitué de médium autorisant des transmissions bidirectionnelles, chaque médium réel sera modélisé par deux liens, un dans chaque sens. De manière similaire, chaque lien est censé supporter une seule unité de transmission. Si le réseau réel est constitué de médium autorisant le multiplexage de plusieurs transmissions, chaque médium réel sera modélisée par plusieurs liens, à hauteur de sa possibilité de multiplexage.

Exemple :

La topologie circulaire (Figure 8a) $T_1 = \langle S, F_1 \rangle$ définie sur trois sites $S = \{1, 2, 3\}$ est

décrit par la fonction F1 :

$$F1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

La topologie linéaire (Figure 8b) T2=<S,F2> est décrite par la fonction F2 :

$$F2 = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

3.2 Définition des liaisons logiques

Nous définissons les besoins des utilisateurs $U=<L, B>$, par l'ensemble des liaisons logiques intéressantes représenté par la fonction L, et par la fonction B qui permet de les pondérer. La fonction L définit le nombre de liaisons devant relier chaque paire de sites. Elle est définie sur $S \times S \rightarrow \mathbb{N}$. La fonction B modélise la fréquence d'utilisation ou d'importance des liaisons les unes vis-à-vis des autres. Elle est définie sur $S \times S \times \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{R}$, où \mathbb{R} est l'ensemble des réels. L'expression des besoins des utilisateurs à l'aide des fonction L et B, en fonction des liaisons et non des liens, facilite cette expression indépendamment de la topologie et du routage. Les deux fonctions formalisent les critères nous permettant de comparer deux topologies basées sur le même ensemble de sites. La normalisation de la fonction B impose que :

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} \sum_{k \in \mathbb{N}} B(i,j,k) = 1.$$

Notations :

Pour la suite de notre discours, nous définissons les notations suivantes.

La matrice $[k, l]$ représente la matrice où seule la composante (k,l) est non-nulle :

$$\forall i \neq k \in S, \forall j \neq l \in S [k, l](i, j) = 0, \text{ alors que } k, l = 1.$$

Soit deux matrices M1 et M2, on note par $M1 \leq M2$ la relation :

$$\forall i \in S, \forall j \in S, M1(i, j) \leq M2(i, j).$$

On note par $]a .. b]$ l'intervalle formé par tous les entiers compris entre a et b, a étant exclu, et b inclus. On remarque alors que l'intervalle $]a .. a]$ est égal à l'ensemble vide. De manière similaire, pour l'intervalle noté $[a .. b]$, a et b sont inclus, pour l'intervalle $]a .. b]$, a est inclus et b est exclu.

On note par $\| M \|$ le poids d'une matrice. Il est défini par : $\| M \| = \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} M(i, j)$.

Exemple :

Les deux topologies précédentes sont évaluées vis-à-vis des besoins suivants. Les utilisateurs désirent deux liaisons entre chaque stations.

$$L = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

Le besoin d'obtenir ces liaisons est uniformément réparties :

$$\forall i \in S, \forall j \in S, \forall k \in]0 .. L(i, j)], B(i, j, k) = 1 / \| L \|.$$

$$B_{k \in \{1,2\}} = \begin{bmatrix} 0 & 0.08334 & 0.08333 \\ 0.08334 & 0 & 0.08334 \\ 0.08333 & 0.08334 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0.08333 & 0.08333 \\ 0.08333 & 0 & 0.08333 \\ 0.08333 & 0.08333 & 0 \end{bmatrix}$$

Bien évidemment, une liaison logique pour exister dans une topologie doit prendre corps par l'intermédiaire des liens physiques de cette topologie. L'ensemble des liens d'une liaison constitue son support. On remarque qu'une même liaison peut avoir plusieurs supports (Figure

4). Cette multiplicité des supports assure une redondance qui favorise la résistance aux pannes d'une topologie.

L'ensemble des supports d'une liaison logique entre deux sites i et j dans la topologie $T = \langle S, F \rangle$, c'est à dire l'ensemble des chemins du site i au site j , est représenté par la fonction H^F définie de $S \times S$ vers $S \times S \times \mathbb{N}$. Une matrice M est un support de la liaison $[i, j]$ dans une topologie T , soit $M = H^F(i, j)$. C'est à dire si : $\exists n \in \mathbb{N}$ tel que $M = \sum_{k \in [1..n]} [i_k, j_k]$ avec

- (1) $\forall k \in [1..n]$ on a $[i_k, j_k] \leq F$,
- (2) $i_1 = i, j_n = j$, et $\forall k \in [1..n[$ on a $j_k = i_{k+1}$,
- (3) $\forall k \in [1..n]$, si $\exists l \in [1..n]$ tel que $i_k = i_l$, alors $j_k = j_l$.

Autrement dit un chemin est (1) un ensemble de liens physiques existants dans la topologie F ; (2) tel que le premier lien parte du site i , que le dernier lien arrive au site j , et que tous ces liens soient successifs; (3) et qu'il n'ait pas de cycle.

3.3 Le graphe des configurations

Une **configuration** est un ensemble de liaisons logiques pouvant être simultanément établies sur une même topologie. La configuration est compatible, si l'ensemble des liens physiques supportant chacune des liaisons logiques est compris dans l'ensemble des liens physiques existants dans la topologie étudiée. Une configuration est intéressante, si l'ensemble de ses liaisons logiques est compris dans l'ensemble des liaisons logiques défini par les besoins.

Le **support** d'une configuration est constitué de l'ensemble des supports de ses liaisons. Nous avons constaté qu'il était possible à une liaison logique d'avoir plusieurs supports. De même, une configuration peut avoir plusieurs supports (Figure 5). L'ensemble des supports d'une configuration est construit par le produit des ensembles des supports de chacune des liaisons constituant la configuration. De cet ensemble, on doit retirer les supports de configuration incompatibles avec la topologie étudiée.

R^F est la fonction définie de $S \times S \times \mathbb{N}$ vers $S \times S \times \mathbb{N}$ qui permet d'associer à chaque ensemble de liaisons logiques l'ensemble de ses supports possibles dans la topologie $T = \langle S, F \rangle$. Elle est définie par $M = R^F(e)$ si et seulement si la matrice M est un support de la configuration "c" basée sur l'ensemble "e" de liaisons logiques dans la topologie $T = \langle S, F \rangle$. C'est à dire si et seulement si :

- (1) $\exists n \in \mathbb{N}$ tel que $e = \sum_{k \in [1..n]} [i_k, j_k]$, et
- (2) $\exists h_k \in H^F [i_k, j_k]$ tel que $M = \sum_{k \in [1..n]} h_k$, et
- (3) $M \leq F$.

C'est à dire : (1) Il est possible de décomposer "e" en un ensemble des liaisons logiques élémentaires; (2) Il est possible de décomposer M en un ensemble de liens physiques élémentaires; On partitionne cet ensemble de liens, en associant à chaque partie une liaison logique dont elle est le support; (3) De plus M est compatible avec F .

3.4 Définition du graphe

L'évaluation d'une topologie nécessite l'évaluation de toutes ces configurations. Cette évaluation requiert l'établissement d'un graphe définissant les possibilités de passer d'une configuration à une autre.

Le graphe $G_T = \langle C, A \rangle$ d'une topologie $T = \langle S, F \rangle$ est défini par la fonction A (formant les arcs de ce graphe) définie sur C l'ensemble des configurations (formant les états du graphe) en fonction de l'expression des besoins des utilisateurs $U = \langle L, B \rangle$.

Soit C l'ensemble des configurations compatibles sur T et U :

$C = \{ \langle e, p \rangle \text{ tel que } e : S \times S \rightarrow \mathbb{N} \text{ avec } e \leq L, p : S \times S \rightarrow \mathbb{N} \text{ avec } p \leq F, \text{ et } p \in R^F(e) \}$.
 C est un ensemble de doublets formés sur les états logiques "e" et les états physiques "p". "e" est un ensemble de liaisons intéressantes vis à vis des besoins L, et "p" est son support physique compatible avec la topologie F.

La fonction A est définie de C vers C. Deux configurations c1 et c2 sont reliées (père/fils), c'est à dire que $A(c1) = c2$ avec $c1 = \langle e1, p1 \rangle$ et $c2 = \langle e2, p2 \rangle$ si et seulement si :

$$\exists i \in S, \exists j \in S \text{ tel que } e1 + [i, j] = e2, \text{ et}$$

$$\exists c \in H^{F-p1}([i, j]) \text{ tel que } p1 + c = p2.$$

On définit deux ensembles supplémentaires :

- l'ensemble Père de C vers C* est définie par $\text{Père}(c1) = \{ c2 \text{ tel que } A(c2) = c1 \}$, on note qu'une configuration peut avoir plusieurs configurations pères;
- l'ensemble Fils de C vers C* est définie par $\text{Fils}(c1) = \{ c2 \text{ tel que } A(c1) = c2 \}$, on note qu'une configuration peut avoir plusieurs configurations fils.

Exemple :

La figure 6 décrit une partie du graphe des configurations associé à la topologie T1 .

3.5 Evaluation

Notre fonction d'évaluation V tente de mesurer la possibilité pour une topologie donnée de répondre aux besoins exprimés. C'est à dire de pouvoir établir l'ensemble des liaisons logiques jugées comme intéressantes par les utilisateurs. Ceci revient à mesurer les possibilités d'établissements maximums de liaisons logiques à partir de chacune des configurations.

La fonction X mesure la probabilité d'établir simultanément un certain nombre de fois une liaison logique donnée à partir d'une configuration particulière. La fonction X est définie de $C \times S \times S \times \mathbb{N}$ vers \mathbb{R} :

$$X(c, i, j, k) = \text{si } \text{Fils}(c) \neq \{ \} \text{ alors } \sum_{f \in \text{Fils}(c)} X(f, i, j, k) / \|\text{Fils}(c)\|$$

sinon si $e(i, j) \leq k$ avec $c = \langle e, p \rangle$ alors 1 sinon 0.

La fonction Y donne la probabilité d'établir un certain nombre d'occurrences d'une liaison logique donnée à partir de l'ensemble des configurations possibles. La fonction Y est définie de $S \times S \times \mathbb{N}$ vers \mathbb{R} telle que :

$$Y(i, j, k) = \sum_{c \in C} X(c, i, j, k) \cdot E(c),$$

avec E(c) la probabilité que la topologie étudiée soit dans la configuration c (cf. § suivant).

Finalement, on définit la fonction d'évaluation V d'une topologie $T = \langle S, F \rangle$ en fonction des besoins exprimés $U = \langle L, B \rangle$. La fonction V est définie sur \mathbb{R} par :

$$V^T_U = \sum_{(i,j) \in S \times S} \sum_{k \in \mathbb{N}} Y(i, j, k) \cdot B(i, j, k).$$

3.6 Les probabilités d'états

Avant de calculer la fonction d'évaluation, il convient d'établir les probabilités d'états de chaque configuration. La probabilité d'état d'une configuration, c'est la fréquence d'apparition de cette configuration dans la topologie étudiée.

La probabilité d'état associée à chaque configuration peut être calculée en connaissant la probabilité de passer d'une configuration à l'autre. C'est à dire si on connaît la probabilité d'ouvrir et de fermer une liaison. Si cette probabilité suit une loi de service exponentielle, le graphe des configurations peut être associé à une chaîne de Markov (13).

La chaîne de Markov est construite à partir du graphe en lui ajoutant à tout arc existant de la configuration c_j vers c_i un arc inverse de la configuration c_i vers la configuration c_j . Le premier arc représentant l'établissement d'une nouvelle liaison, l'arc inverse représentant la rupture de cette même liaison. A chaque couple d'arcs reliant deux configurations c_i et c_j , on associe les deux probabilités suivantes : $Pe([i,j])$ la probabilité d'établissement de la nouvelle liaison logique $[i,j]$, c'est à dire celle qui différencie la configuration c_i et c_j ; $Pr([i,j])$ la probabilité de rupture de cette même liaison logique. A chaque état, on lui associe un arc bouclé et la probabilité P de rester dans cet état.

Pour résoudre la chaîne de Markov, on construit la matrice des probabilités associée, PM , définie de $C \times C$ sur \mathbb{R} :

$$\forall c1=\langle e1,p1 \rangle \in C, \forall c2=\langle e2,p2 \rangle \in \text{Fils}(c1), PM(c1, c2) = Pe(e2-e1).$$

$$\forall c1=\langle e1,p1 \rangle \in C, \forall c2=\langle e2,p2 \rangle \in \text{Père}(c1), PM(c1, c2) = Pr(e1-e2).$$

$$\forall c1 \in C, PM(c1, c1) = P(c1).$$

$$\forall c1=\langle e1,p1 \rangle \in C, \forall c2=\langle e2,p2 \rangle \in C - (\text{Fils}(c1) + \text{Père}(c1) + \{c1\}), PM(c1, c2) = 0.$$

Les éléments diagonaux représentent la probabilité de rester dans la configuration. La normalisation impose les valeurs des éléments diagonaux :

$$\forall c1 \in C, P(c1) = 1 - \sum_{c \in C - \{c1\}} PM(c1, c) .$$

Si les conditions de stationnarité sont remplies, trouver les probabilités d'états des configurations E revient à résoudre le système suivant :

$$PM \cdot E = E.$$

Exemple :

La figure 7 décrit la chaîne de Markov obtenue à partir du graphe des configurations.

3.7 Résolution analytique

Si l'on suppose que les probabilités d'établissement et de rupture sont constantes quelles que soient les liaisons, c'est à dire que : $\forall i \in S, \forall j \in S, Pe([i,j])=Pe$ et $Pr([i,j])=Pr$, nous démontrons un résultat original. Ce résultat permet d'obtenir les probabilités d'états sans un long calcul de résolution de la matrice. Ce résultat favorise notre procédé d'évaluation des topologies.

On définit la fonction $Prof$ de C vers \mathbb{N} qui associe à chaque configuration son nombre de liaisons logiques établies, c'est à dire sa profondeur dans le graphe car il est sans cycle.

$$\forall c=\langle e,p \rangle \in C, Prof(c) = \|\ e \ \|.$$

Théorème :

Si les probabilités d'établissement Pe et de rupture Pr sont identiques quelles que soient les liaisons, la fonction E associant à toute configuration sa probabilité d'état s'écrit alors sous la forme suivante :

$$\forall c \in C, E(c) = (Pe / Pr)^{Prof(c)} / \gamma, \text{ où la constante de normalisation } \gamma = \sum_{c \in C} E(c) \otimes$$

On appelle β le rapport de la probabilité d'établissement sur la probabilité de rupture des liaisons. Il est défini par : $\beta = Pe / Pr$.

On remarque que le taux de liaison β influe directement sur le nombre moyen de liaisons établies Nm où Nm est défini par :

$$Nm = \sum_{c \in C} E(c) \cdot \text{Prof}(c) .$$

Si les probabilités d'établissement et de rupture des liaisons sont constantes, alors :

$$Nm = \sum_{c \in C} \beta^{\text{Prof}(c)} / \gamma \cdot \text{Prof}(c) .$$

Le même procédé permet d'évaluer une topologie dans un contexte de pannes. Cela consiste à évaluer la topologie initiale privée d'un ou plusieurs liens physiques. Nous pouvons distinguer deux types de pannes : la panne de site rompt l'ensemble des liens ayant pour site d'arrivée ou de départ le site en panne, la panne de lien interrompt uniquement le lien en cause.

4. ARCHITECTURE

4.1 Evaluation de la topologie

L'architecture du Réseau permet l'obtention de plusieurs topologies. Les deux topologies de base sont la topologie linéaire et la topologie circulaire (Figure 8a et 8b). La différence entre ces deux topologies réside dans la manière dont les matrices sont interconnectées. Dans la topologie circulaire, chaque matrice est connectée de manière identique : chaque matrice possède deux voisins. Alors que dans la topologie linéaire la première et la dernière matrice sont connectées à un seul voisin. Ces deux topologies sont imposées par l'installation linéaire de la fibre optique sur le campus universitaire. Des topologies en étoile ou en anneau peuvent être employées dans d'autres cas.

Il est à noter que ces deux topologies utilisent la même topologie physique (4 fibres optiques), leurs coûts sont donc approximativement identiques. Il n'est pas évident de décider quelle topologie est la meilleure. La topologie circulaire est régulière, mais la topologie linéaire a plus de connexions.

Nous avons évalué les deux topologies précédentes avec 2,3,4,5,6,7,8, et 10 stations. La Figure 9 montre que la topologie linéaire est meilleure que la topologie circulaire lorsque les équipements vidéo sont connectés en moyenne durant 10% du temps. Pour d'autres valeurs de ce rapport, les résultats sont identiques. En tenant compte des pannes, la Figure 10 montre que la redondance de la topologie linéaire favorise la tolérance aux fautes en cas de pannes de liaisons. Par contre, la Figure 11 montre la tendance opposée dans le cas de pannes de matrices parce que la panne de matrice divise en deux parties la topologie linéaire, alors que la topologie circulaire conserve sa connexité. L'évaluation globale des deux topologies, avec une probabilité de panne de liaison égale à 10^{-6} et une probabilité de panne de matrice égale à 10^{-6} , prouve, que la topologie linéaire est meilleure que la topologie circulaire.

4.2 Amélioration de l'architecture

Nous avons vu précédemment que la transmission d'un signal vidéo occupe au plus une bande passante de 30 MHz, alors que la fibre optique offre une bande passante beaucoup plus large. Nous proposons de multiplexer plusieurs canaux sur une fibre optique pour couvrir toute la bande passante disponible. Nous utilisons à cet effet une technique de multiplexage spatiale (FDM : Frequency Domain Multiplex).

Nous introduisons donc dans notre architecture, au niveau de chaque matrice, un **démultiplexeur** entre le coupleur de réception et les entrées de la matrice, et un **multiplexeur** entre le coupleur d'émission et les sorties de la matrice (Figure 12). Plus le nombre de canaux augmente moins il y a d'entrées disponibles pour connecter les équipements de vidéocommunication. La topologie linéaire est plus sensible à ce phénomène que la topologie circulaire. Avec une matrice à 16 entrées et à 16 sorties, deux paires de fibres optiques et 4 canaux par fibre optique, les matrices internes sont saturées, aucun équipement ne peut être connecté à celles-ci! Pour éviter ce problème, nous proposons l'utilisation d'une matrice comportant plus d'entrées/sorties, ou la mise en cascade d' au moins deux matrices.

L'évaluation des deux topologies circulaire et linéaire montre à nouveau que la topologie

linéaire a de meilleures performances. Cependant, la différence est moins marquée que dans le cas de l'architecture précédente sans multiplexeurs. Nous expliquons cette moindre différence par les deux points suivants:

- plus le nombre de canaux augmente, plus la chance d'avoir un canal disponible augmente;
- la topologie linéaire reste défavorisée par la panne de matrice qui divise l'ensemble des stations en deux parties.

La technique de multiplexage permet de mieux utiliser la fibre optique mais avec un coût plus élevé. Néanmoins, cette technique implique l'utilisation d'un nombre plus important d'entrées/sorties que dans l'architecture sans multiplexeur. Avec une faible probabilité de panne de matrice, la topologie linéaire reste la meilleure .

4.3 Sous-réseaux de commandes et d'images

On peut distinguer logiquement deux sous-réseaux dans le réseau de vidéocommunication :

- le sous-réseau de transmission d'images vidéo qui véhicule les images entre équipements vidéo ;
- le sous-réseau de commande qui assure la transmission et la gestion des messages échangés entre les utilisateurs, le serveur et les contrôleurs.

Il existe deux architectures de base pour implanter le réseau de vidéocommunication :

- la première architecture repose sur l'utilisation de deux sous-réseaux indépendants et spécialisés, un sous-réseau analogique pour la transmission d'images (une paire de fibres) et un sous-réseau numérique pour la transmission des commandes et la gestion des échanges numériques (une seconde paire de fibres).
- la seconde architecture intègre ces deux sous-réseaux en un réseau unique sur le même support physique (une seule paire de fibres).

Par conséquent, nous proposons d'intégrer le sous-réseau image et le sous-réseau commande sur le même support physique. Le projet RETINE peut être ainsi vu comme une succession progressive d'étapes d'intégration :

- 1- le premier prototype gère la transmission d'images et la transmission de commandes avec des sous-réseaux séparés en utilisant le même type de support : deux paires de fibres optiques .
- 2- dans le prototype que nous proposons, ici, nous intégrons les deux transmissions sur le même support : une paire de fibres optiques. Dans cet article, nous étudions différents techniques permettant ce multiplexage .
- 3- l'étape finale de ce projet sera l'intégration complète en utilisant le même protocole pour effectuer les transmissions de commandes et d'images sur un réseau numérique à très haut débit.

4.4 Le premier prototype

Le premier prototype implanté de notre réseau de vidéocommunication utilise la première architecture (3). Une paire de fibres optiques est utilisée pour la diffusion d'images, une autre pour transmettre les commandes des utilisateurs vers le serveur et du serveur aux contrôleurs. Cette architecture a été choisie parce qu'elle est naturelle (le réseau Carthage est entièrement fonctionnel), et parce qu'il existe des fibres disponibles couvrant le campus. Cependant cette architecture duplique les réseaux et accroît les coûts.

Chaque matrice est pilotée localement par un **contrôleur** à base de microprocesseur. Un **serveur** centralisé assure la gestion du réseau vidéo (Figure 13). Le serveur, les contrôleurs et les utilisateurs communiquent entre eux à travers le sous-réseau de commande. Nous étudions ici l'architecture du sous-réseau commande.

Les fonctions du contrôleur associées à chaque matrice sont les suivantes (Figure 14) :

- la gestion de la matrice locale à travers les lignes de matrice (ML);
- la gestion des équipements locaux à travers les lignes d'équipement (EL);
- la gestion de liaisons avec des terminaux locaux à travers des lignes terminaux (TL);
- la gestion des informations échangées à distance avec le serveur à travers le canal de commande (CC).

L'accès au sous-réseau image est contrôlé par un serveur connecté au réseau informatique. Le serveur enregistre les requêtes des utilisateurs, détermine les actions et transmet les commandes vers les contrôleurs impliqués. Le serveur assure l'administration totale du réseau (supervision, tarification, cohérence,...). Il supervise les contrôleurs et les matrices de commutation (chargement à distance de logiciel, configuration, états des contrôleurs et matrices, ...). Il échange les commandes avec les contrôleurs pour établir les connexions avec les équipements vidéo (11). En plus, le serveur peut contrôler à distance les équipements vidéo qui peuvent être connectés à la matrice la plus proche.

Le protocole de communication de commandes assure une transmission correcte des données du serveur aux contrôleurs. C'est un protocole orienté connexion. Le serveur permet à chaque utilisateur de connecter une ou plusieurs sources d'images (caméra,...) à un ou plusieurs récepteurs d'images (moniteur,...). Le serveur assure l'interface avec les utilisateurs, exécute l'algorithme de routage pour établir les connexions entre les sources et récepteurs d'images à travers les matrices, et envoie les commandes aux contrôleurs appropriés.

4.5 Le deuxième prototype

Pour parvenir à intégrer les commandes et les images sur le même support deux types d'architectures peuvent être considérés.

Le premier type utilise seulement une technique de multiplexage spatial. Un canal est réservé à la transmission de commandes et les autres canaux sont réservés à la transmission d'images.

Le second type utilise en plus une technique de multiplexage temporel. Au niveau de chaque canal les commandes sont insérées dans la trame de données associées aux images .

Dans le cas le premier type d'architecture, un canal est assigné à la transmission des commandes, et on peut choisir de connecter le contrôleur directement au canal ou à travers la matrice. Le passage par la matrice permet de choisir entre différents canaux pour la transmission des commandes. Cette architecture a une bonne tolérance aux pannes, cependant elle occupe une entrée et une sortie sur chaque la matrice .

Dans les deux cas de mode de connexion, on peut établir un anneau utilisant les canaux associés au sous-réseau de commandes pour connecter tous les contrôleurs de matrices au serveur. Ainsi, on peut envisager d'utiliser un protocole standard de réseau numérique.

L'architecture générale du second type est présentée Figure 15. Un **mixeur/extracteur** est inséré entre la matrice et le multiplexeur/démultiplexeur. Il permet l'insertion/extraction des commandes dans/des images. Dans ce cas les contrôleurs gèrent plusieurs canaux de commandes indépendants.

Les commandes sont émises lorsque le signal image vidéo n'est pas significatif ou non utilisé. La technique d'insertion des commandes dépend du standard. Dans les standards classiques de télévision (PAL, SECAM, NTSC*), il y a 625/525* lignes par image, chaque image étant constituée de deux trames entrelacées. Certaines lignes (25 lignes par trame environ) ne sont pas visualisés sur l'écran de télévision (Figure 16).

Ces lignes non visualisées peuvent servir aux finalités suivantes :

- chaque standard utilise quelques unes de ces lignes pour insérer des signaux de mesure spécifiques,
- certaines applications de service utilisent quelques unes de ces lignes pour insérer des informations numériques. Un procédé similaire est envisagé pour multiplexer les commandes à l'intérieur de l'image en utilisant le reste des lignes (environ 18 lignes).

On peut ainsi atteindre un débit de transmission effectif de l'ordre de 180 Kbit/s dans le cas où on insère les commandes dans les lignes restantes avec un débit de transmission de 4 Mbit/s qui est compatible avec la bande passante du canal .

De plus, chaque signal vidéo de ligne comporte trois intervalles de temps correspondant respectivement à la synchronisation, au "burst" pour le codage de la couleur, et à l'information image. Il existe une période de temps dans l'intervalle de synchronisation qui n'est pas significative et peut être donc utilisée pour insérer des informations numériques (Figure 17).

La Figure 18 décrit le traitement des trames pour la séparation/génération des commandes de l'information image. Deux problèmes sont difficiles à résoudre : la synchronisation et le maintien du format de trame. Le mixeur/extracteur insère les commandes numériques en se synchronisant, soit sur les tops de synchronisation de la source d'images lorsqu'elle existe (lors de transmission d'images), soit sur sa propre base de temps (en absence de transmission d'images), ce qui permet de maintenir un synchronisme avec la station en aval.

Les avantages de cette technique résident dans sa grande disponibilité puisque on peut transmettre des commandes à chaque instant, et dans l'efficacité d'utilisation de la bande passante puisque les durées non utilisées par l'image sont utilisées pour transmettre des commandes. Les inconvénients sont la complexité d'implantation due à la complexité de synchronisation et à la difficulté de gérer plusieurs standards vidéo. L'intégration des commandes dans l'image souffre de la grande variété des standards vidéo courants. En plus les nouveaux standards de télévision haute définition utilisent des formats de trame différents, de nouvelles techniques de transmission, et une bande passante plus large que dans les standards de télévision actuels. Il est évident que la combinaison des deux techniques constitue une solution optimale pour obtenir un meilleur débit de transmission effectif.

Ainsi, le premier type d'architecture utilisant un canal dédié pour la transmission de commandes est mieux adaptée à la multiplicité des standards vidéo actuels et futurs. Ceci est vrai pour les deux raisons suivantes :

- l'implantation est directe et la gestion du canal de commande est facile car elle est indépendante des canaux de transmission d'images.
- aucune recherche et méthode sophistiquée dues à la présence de différents standards ne sont nécessaires pour garantir une architecture transparente.

5. CONCLUSION

Nous avons étudié une nouvelle architecture de réseau de vidéocommunication. Notre architecture est basée sur l'utilisation de matrices à commutation électronique et de fibres optiques. La fibre optique est choisie au moins pour les deux raisons suivantes : d'une part elle possède une large bande passante permettant d'avoir une multitude de canaux ou des transmissions à très haut débit, et d'autre part son faible coefficient de perte de puissance optique permet de couvrir de longues distances de transmission .

La conception du circuit imprimé de la matrice est réalisée avec beaucoup de soin notamment en respectant des règles d'implantation très sévères : blindage, minimisation du chemin du signal pour ne pas dégrader ses caractéristiques, séparation de chaque ligne de signal par des lignes de masses pour diminuer le couplage entre canaux, circuits d'alimentations régulés et correctement découplés, un seul point commun entre la masse analogique et la masse numérique. La conception de la matrice est faite de sorte que deux entrées ne peuvent jamais être commutées sur la même sortie. Ceci garantit une protection matérielle de la matrice et évite d'avoir recours à des traitements logiciels pour la gestion de ce genre de conflit. La matrice a été conçue en modules pour faciliter sa réalisation physique et sa maintenance ainsi que pour diminuer la longueur des connexions en utilisant une implantation dans les 3 dimensions. Par conséquent, les connecteurs sont étudiés pour permettre une bonne répartition des masses séparant chaque signal. Les mesures expérimentales confirment les performances attendues de la matrice.

Chaque matrice possède 16 entrées et 16 sorties. Elle est formée par l'association de 16 multiplexeurs 16/1. Une entrée permet de connecter une source d'images. Une sortie permet de connecter un équipement de réception. Certaines entrées sont connectées à la fibre optique via l'électronique de réception. Certaines sorties sont connectées à la fibre optique via l'électronique d'émission.

La matrice de commutation permet de réaliser plusieurs topologies. Nous avons proposé un outil logiciel TOPE pour évaluer ces différentes topologies. Les topologies linéaire et circulaire ont été étudiées. L'évaluation montre que la topologie linéaire est meilleure que la topologie circulaire.

Nous avons présenté le réseau de vidéocommunication utilisant deux sous réseaux indépendants : un pour la transmission d'images, l'autre pour la transmission des commandes. Nous avons discuté les possibilités d'intégration du sous-réseau commande dans le sous-réseau image. Deux solutions sont proposées. Un premier type d'architecture utilise une technique de multiplexage spatial et alloue un canal à la transmission des commandes et les autres canaux à la transmission des images. Le deuxième type d'architecture utilise en plus des techniques de multiplexage temporel pour incruster les commandes dans l'image dans le même canal. Nous concluons que relativement à l'état de l'art dans les standards vidéo, le premier type d'architecture restera mieux adapté que le second jusqu'à la naissance d'un standard vidéo universel, à moins que l'on choisisse de ne diffuser sur le réseau qu'un seul standard vidéo.

Les principes de conception et méthodologies adoptés reposent sur la modularité. Celle-ci préserve les investissements aussi bien dans le domaine matériel que logiciel. L'architecture utilisée permet d'incorporer de nouveaux progrès pour supporter, sans changement majeur, la croissance du réseau.

REFERENCES

- (1) **Documentation** technique du réseau local Carthage LCT 6500. 1986.
- (2) **R.Castanet, X.Navarro**
Networks for image transmission. Euteco 88. Vienne-Austria. April 1988.
- (3) **L.Kamoun, H.Henry, A.Mora.**
Local area network for video image transmission. Proceedings of the international conference on Data Communication Technology, pp 302-311. Limerick-Eire, 21-23 September 1988.
- (4) **B.Cousin.**
Evaluation des topologies: application à un réseau local d'images. Rapport de recherche du LaBRI n°89-79. Université de Bordeaux 1. Mai 1989.
- (5) **K.A.Prabhu.**
Digital 's advantages in video transmission. Lightwave, journal of fibre optic, pp28-30. May 1988.
- (6) **R.W.Lay.**
What is Super NTSC. Lightwave, journal of fibre optic, p 9. October 1988.
- (7) **E.Launet.**
Les premiers pas de la télévision haute fidélité. Sciences et techniques, n°42-43, p 32. Novembre 1987.
- (8) **Avis 601 du CCIR**
Paramètres de codage de télévision numérique pour studios, 1982.
- (9) **Antennes**
La TVHD grâce à Eurêka. **Antennes** n°8, pp16-18. 1988.
- (10) **S.S. Wagner.**
Optical amplifier applications in fibre optic local area network. IEEE transactions on communications, Vol COM-35, n°4. April 1987.
- (11) **L.Kamoun, H.Henry, A.Mora, A.Ayache, R.Castanet, R.Ducasse.**
Architecture et système de gestion d'un réseau local de vidéocommunication sur le campus des universités de Bordeaux. Besoins des usagers. Premier colloque international sur l'intelligence dans les réseaux. Bordeaux-France. 14-17 Mars 1989.
- (12) **L.Kamoun, B.Cousin.**
Study and evaluation of local area network architectures for video image transmission. A paraître dans INDOLAN 90. Madras - India. January 1990.
- (13) **L.Kleinrock**
Queuing systems. Vol 1&2 : theory & applications, John Wiley. 1976.
- (14) **C.Berge**
Graphes et hypergraphes. Dunod. 1973.
- (15) **M.Gondran, M.Minoux**
Graphes et algorithmes. Eyrolles. 1979.
- (16) **A.M.Johson, M.Malek**
Survey of software tools for evaluating reliability, availability and serviceability. ACM computing surveys, vol 20 n°4, December 1988.
- (17) **J.C.Lalanne**
Caractérisation de la charge des arêtes du graphe support d'un réseau nodal de commutation temporelle asynchrone. RAIRO recherche opérationnelle, vol 22 n°2. 1988.
- (18) **M.Lesk**
Diamètre de graphes et qualité de service d'un réseau de données. RAIRO recherche opérationnelle, vol 18 n°3. Août 1984.
- (19) **J.M.Mepuis**
CREDO : Configurateur de réseaux de données. Echo des recherches, n°110. Octobre 1982.
- (20) **M.Minoux**
Multiflôts de coûts minimums avec fonctions de coûts concaves. Annales des télécommunications, vol 31 n°3-4. 1976.
- (21) **R.Sharp, M.Show, M.Jensen, J.Sparso**
Architectural considerations in LAN-dth. Symposium on local communication systems. Toulouse-France, November 1986.
- (22) **M.N.Swany, K.Thulasimaran**
Graphs networks and algorithms. Wiley, 1981.

Annexes :

Pour les besoins de la preuve du théorème, nous démontrons d'abord deux lemmes.

Lemme 1 :

L1 :: $\forall f \in \text{Fils}(c)$ si $c = \langle e_c, p_c \rangle$ et $f = \langle e_f, p_f \rangle$ alors $\| e_f \| = \| e_c \| + 1$.

Démonstration :

Par définition de Fils : si $f \in \text{Fils}(c)$ alors $A(c) = f$.

Par définition de A: si $A(c) = f$ et $c = \langle e_c, p_c \rangle$ et $f = \langle e_f, p_f \rangle$ alors $\exists i, j \in S \times S$ tel que $e_c + [i, j] = e_f$.

Comme $\| \cdot \|$ est associatif : $\| e_f \| = \| e_c + [i, j] \| = \| e_c \| + \| [i, j] \|$.

Par définition de $\| \cdot \|$ et de $[,]$: $\forall i \in S, \forall j \in S \| [i, j] \| = 1$.

Alors : $\| e_f \| = \| e_c \| + 1 \otimes$

Lemme 2 :

L2 :: $\forall p \in \text{Père}(c)$ si $c = \langle e_c, p_c \rangle$ et $p = \langle e_p, p_p \rangle$ alors $\| e_p \| = \| e_c \| - 1$.

Démonstration similaire au lemme L1.

Lemme 3 :

L3 :: $\forall f \in \text{Fils}(c), E(f) = \beta^{\text{Prof}(c)+1} / \gamma$.

Tous les fils d'une configuration ont même probabilité d'état .

Démonstration :

D'après le lemme L1 : $\forall f = \langle e_f, p_f \rangle \in \text{Fils}(c)$, avec $c = \langle e_c, p_c \rangle$ alors $\| e_f \| = \| e_c \| + 1$.

Par définition de Prof : si $f = \langle e_f, p_f \rangle$ alors $\text{Prof}(f) = \| e_f \|$.

donc: $\text{Prof}(f) = \| e_c \| + 1$.

Par définition de Prof : si $c = \langle e_c, p_c \rangle$ alors $\text{Prof}(c) = \| e_c \|$.

donc : $\text{Prof}(f) = \text{Prof}(c) + 1$.

Par définition de E : $E(f) = \beta^{\text{Prof}(f)} / \gamma$.

donc : $E(f) = \beta^{\text{Prof}(c)+1} / \gamma \otimes$

Lemme 4 :

L4 :: $\forall p \in \text{Père}(c), E(p) = \beta^{\text{Prof}(c)-1} / \gamma$.

Tous les pères d'une configuration ont même probabilité d'état .

Démonstration similaire au lemme L3, mais en utilisant le lemme L2 \otimes

Démonstration du théorème :

Nous allons supposer exacte l'expression de la probabilité $E(c) = \beta^{\text{Prof}(c)} / \gamma$ et nous allons montrer qu'elle est solution de l'équation associée à la chaîne de Markov.

Les probabilités d'états, c'est à dire toutes les lignes du système d'équations de résolution de la chaîne de Markov, peuvent s'écrire sous la forme :

$$E(c) = \sum_{c_1 \in C} \text{PM}(c, c_1) \cdot E(c_1).$$

Par définition de la matrice PM seuls les éléments associés aux configurations fils et père d'une configuration donnée sont non-nuls, et si l'on suppose que tous les établissements et les

ruptures de liaisons ont même probabilité, Pe et Pr , alors :

$$\forall c1 \in \text{Fils}(c), PM(c, c1) = Pe.$$

$$\forall c1 \in \text{Père}(c), PM(c, c1) = Pr.$$

$$\forall c1 \in C - (\text{Fils}(c) + \text{Père}(c) + \{c\}), PM(c, c1) = 0.$$

Les probabilités se réécrivent :

$$E(c) = Pr \cdot \sum_{f \in \text{Fils}(c)} E(f) + Pe \cdot \sum_{p \in \text{Père}(p)} E(p) + P(c) \cdot E(c).$$

D'après le lemme L3 et le lemme L4 sur les probabilités d'états des fils et des pères d'une configuration, l'équation devient :

$$E(c) = Pr \cdot \sum_{f \in \text{Fils}(c)} (\beta^{\text{Prof}(c)+1} / \gamma) + Pe \cdot \sum_{p \in \text{Père}(p)} (\beta^{\text{Prof}(c)-1} / \gamma) + P(c) \cdot E(c).$$

C'est à dire :

$$E(c) = Pr \cdot \|\text{Fils}(c)\| \cdot (\beta^{\text{Prof}(c)+1} / \gamma) + Pe \cdot \|\text{Père}(p)\| \cdot (\beta^{\text{Prof}(c)-1} / \gamma) + P(c) \cdot E(c).$$

De manière identique, les éléments diagonaux de la matrice se réécrivent :

$$\forall c \in C, P(c) = 1 - \sum_{f \in \text{Fils}(c)} Pe + \sum_{p \in \text{Père}(c)} Pr.$$

C'est à dire :

$$\forall c \in C, P(c) = 1 - \|\text{Fils}(c)\| \cdot Pe + \|\text{Père}(c)\| \cdot Pr.$$

Par définition de la probabilité d'état $E(c)$, et d'après ce qui précède sur les éléments diagonaux, l'équation se réécrit :

$$E(c) = Pr \cdot \|\text{Fils}(c)\| \cdot (\beta^{\text{Prof}(c)+1} / \gamma) + Pe \cdot \|\text{Père}(p)\| \cdot (\beta^{\text{Prof}(c)-1} / \gamma) + (1 - \|\text{Fils}(c)\| \cdot Pe + \|\text{Père}(p)\| \cdot Pr) \cdot (\beta^{\text{Prof}(c)} / \gamma).$$

En regroupant les termes en facteur, on trouve :

$$E(c) = \|\text{Fils}(c)\| \cdot [Pr \cdot (\beta^{\text{Prof}(c)+1} / \gamma) - Pe \cdot (\beta^{\text{Prof}(c)} / \gamma)] + \|\text{Père}(p)\| \cdot [Pe \cdot (\beta^{\text{Prof}(c)-1} / \gamma) - Pr \cdot (\beta^{\text{Prof}(c)} / \gamma)] + 1 \cdot E(c).$$

Par définition de $\beta = Pe / Pr$: $\forall x \in \mathbb{N}, \beta^{x+1} = \beta^x \cdot Pe / Pr$,

donc on obtient la formule suivante : $\beta^{x+1} \cdot Pr = \beta^x \cdot Pe$.

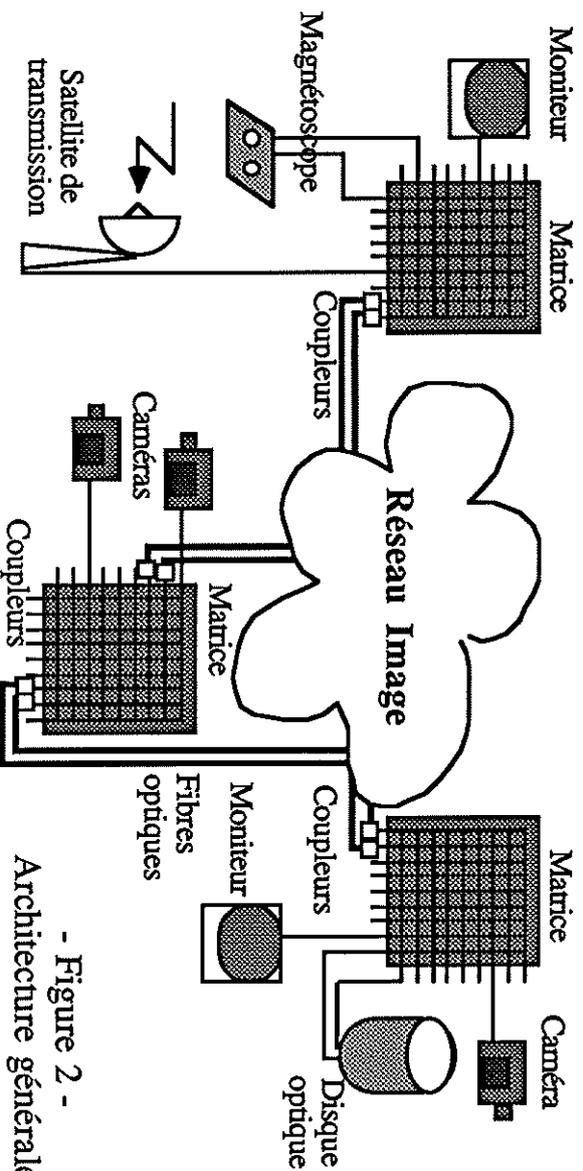
De même : $\forall x \in \mathbb{N}, \beta^{x-1} \cdot Pe / Pr = \beta^x$,

et on obtient la formule : $\beta^{x-1} \cdot Pe = \beta^x \cdot Pr$.

Les deux termes $Pr \cdot (\beta^{\text{Prof}(c)+1} / \gamma) - Pe \cdot (\beta^{\text{Prof}(c)} / \gamma)$ et $Pe \cdot (\beta^{\text{Prof}(c)-1} / \gamma) - Pr \cdot (\beta^{\text{Prof}(c)} / \gamma)$ de l'équation sont nuls, et l'on démontre bien que $E(c) = \beta^{\text{Prof}(c)} / \gamma$ est solution de l'équation \otimes

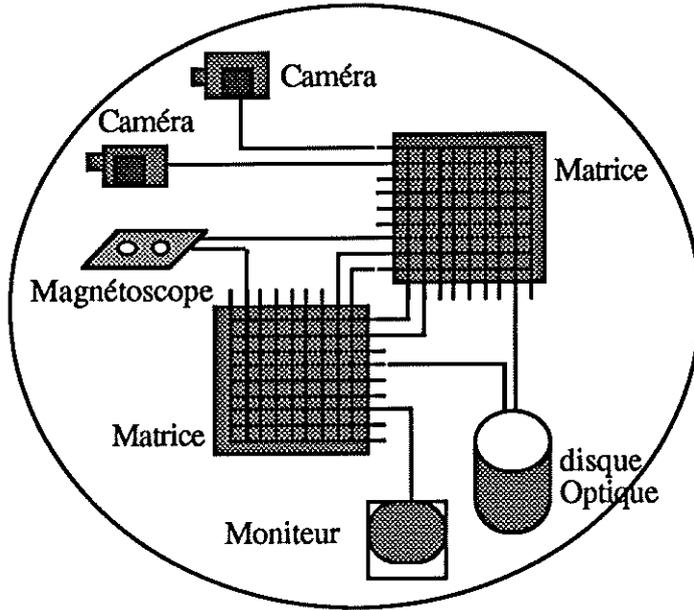
Standard	Caractéristique Lines/Hz/Scan	Format Width/Height	Bandwidth (MHz)	Référence	Sample frequency (MHz) Luminance	Chrominance Frequency (MHz)	Digital Rate (Mbit/s)	Bandwidth (MHz)	Référence
Standard TV PAL/SECAM NTSC	625/50/2:1 525/60/2:1	4/3 4/3	5 to 6 4.2	[7] [5]	13.5 13.5	6.75 6.75	216 216	270 270	[8] [8]
Enhanced TV super NTSC D2MAC	1050/60/2:1 625/50/2:1	4/3 4/3 or 16/9	6 9	[6] [7]	≥ 12 ≥ 18	≥ 6 ≥ 9	≥ 192 ≥ 288	≥ 240 ≥ 360	(Nyquist) (Nyquist)
HDTV Muse(NHK) Rs412 (BBC) HD-MAC v1 HD-MAC v2	1125/60/2:1 1501/60/2:1 1250/50/2:1 1250/50/1	5/3 5/3 16/9 16/9	≤ 30 ≤ 30 ≤ 30 ≤ 30	[6] [6] [9] [9]	≥ 60 ≥ 60 72 144	≥ 30 ≥ 30 36 72	≥ 960 ≥ 960 1152 1729	≥ 1200 ≥ 1200 1440 2160	(Nyquist) (Nyquist) Euréka [9] Euréka [9]

Figure 1 - Bandes passantes pour transmission analogique et numérique d'images

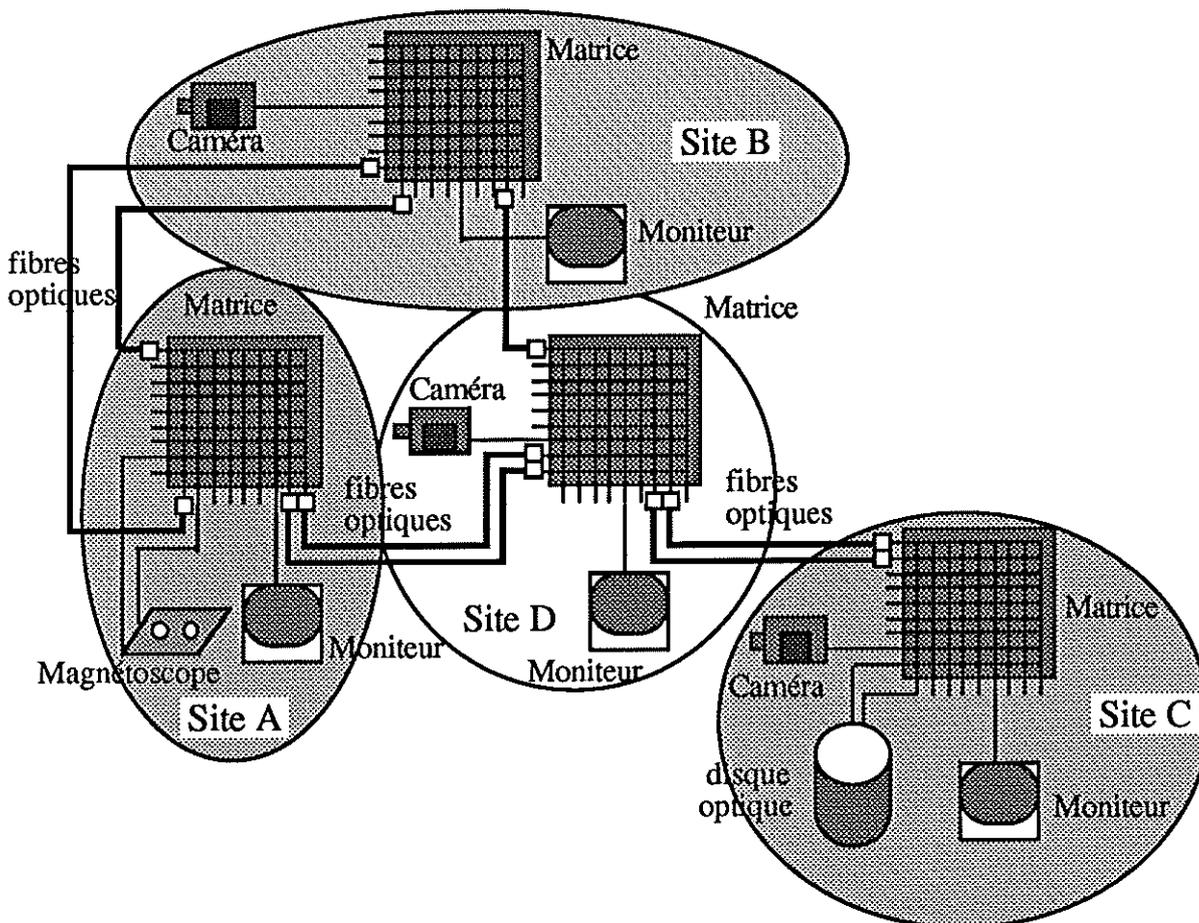


- Figure 2 -
Architecture générale

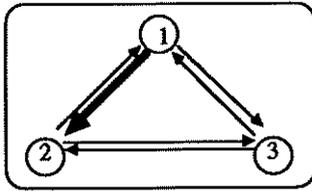
- Figure 3a - Différentes topologies : centralisées -



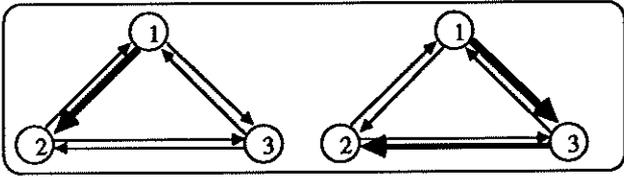
- Figure 3b - Différentes topologies : distribuées -



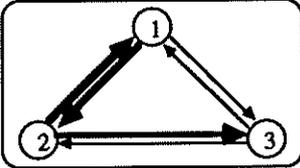
- Figure 4a - Une liaison -



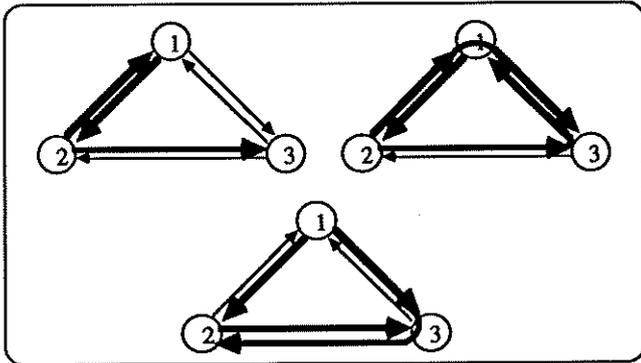
- Figure 4b - Ses supports -



- Figure 5a - Une configuration -

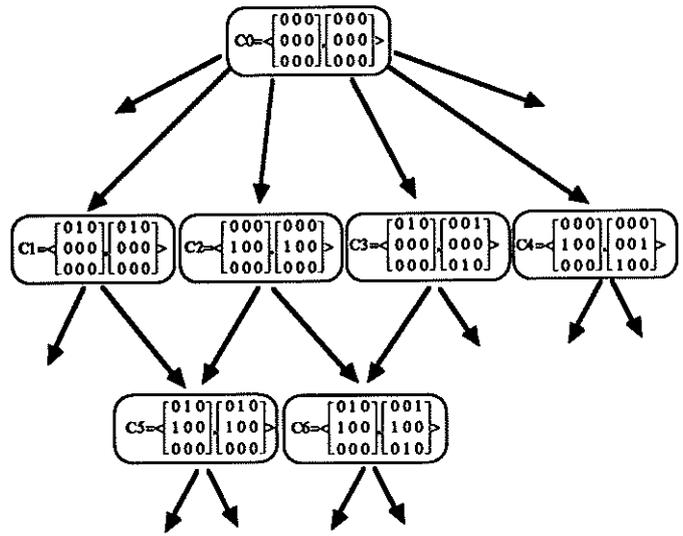


- Figure 5b - Ses supports -

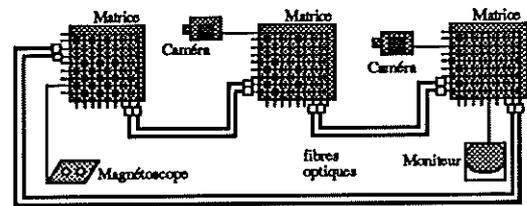
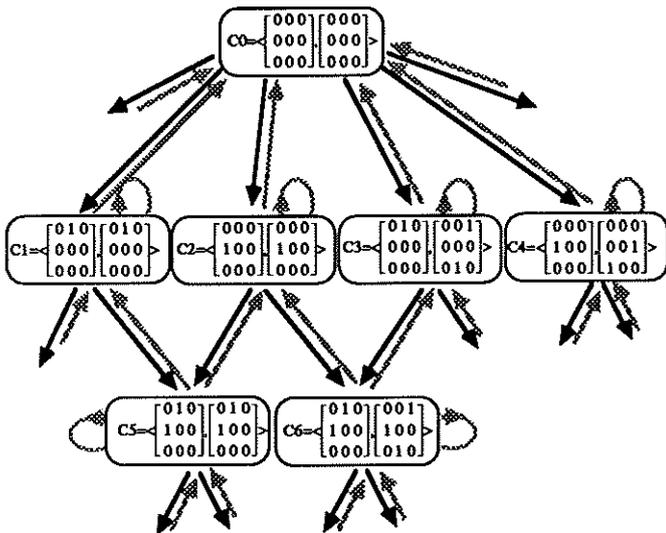


- Figure 6 - Configuration du graphe -

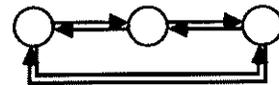
notation : configuration = < matrice des liaisons, son support >



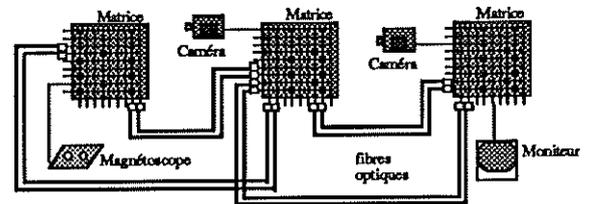
- Figure 7 - La chaîne de Markov -



Réseau Image



- Figure 8a- Topologie circulaire -



Réseau Image



- Figure 8b - Topologie linéaire -

Figure 9 - Evaluation sans panne des topologies

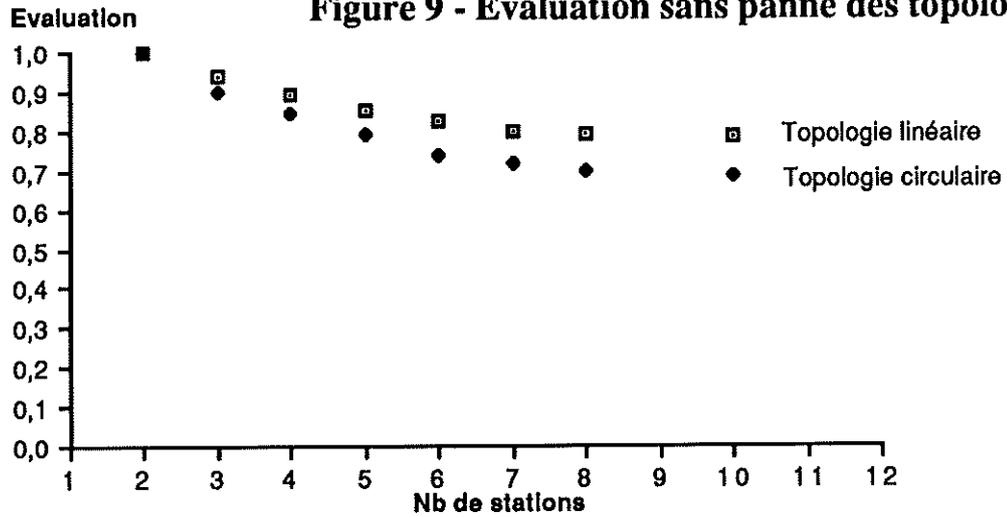


Figure 10 - Evaluation avec une panne de lien

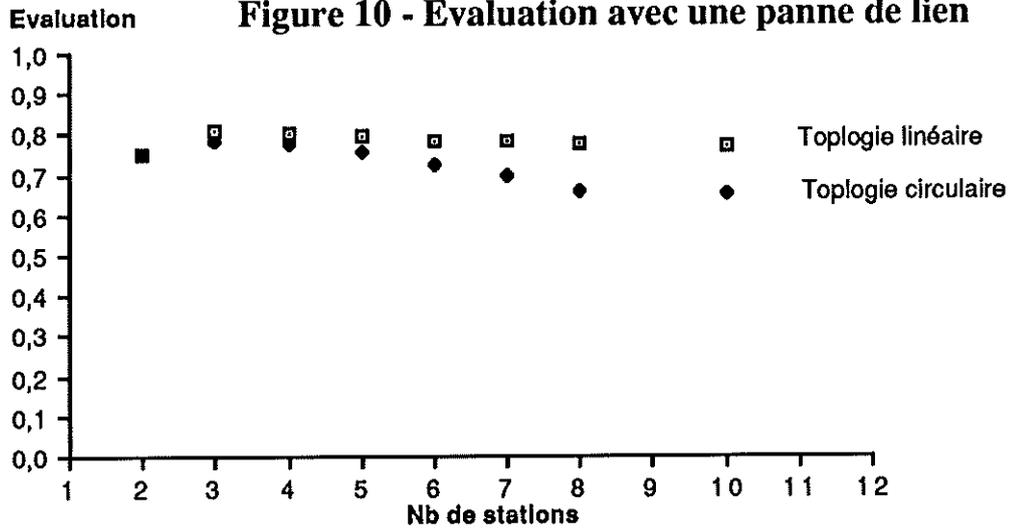
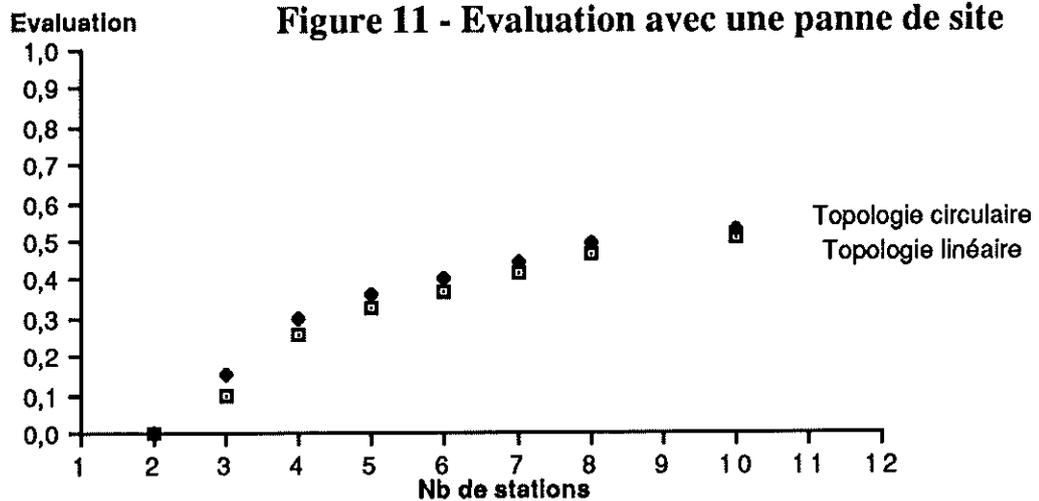
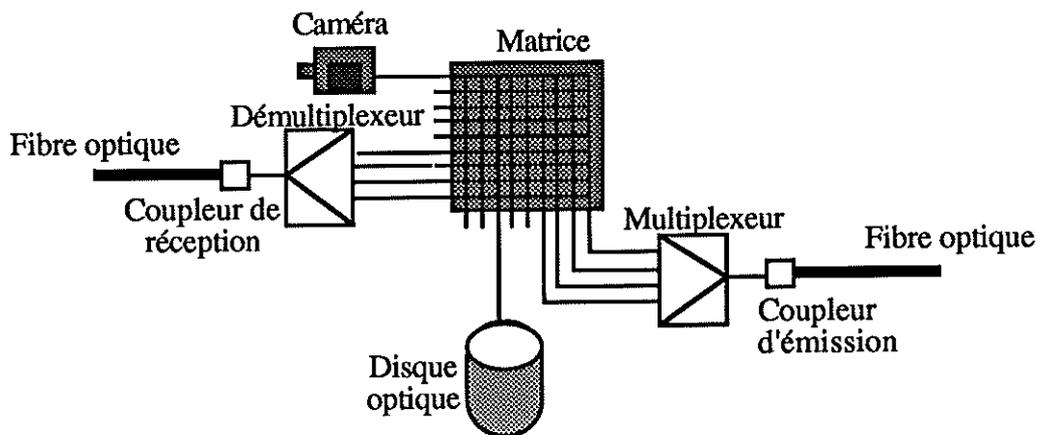
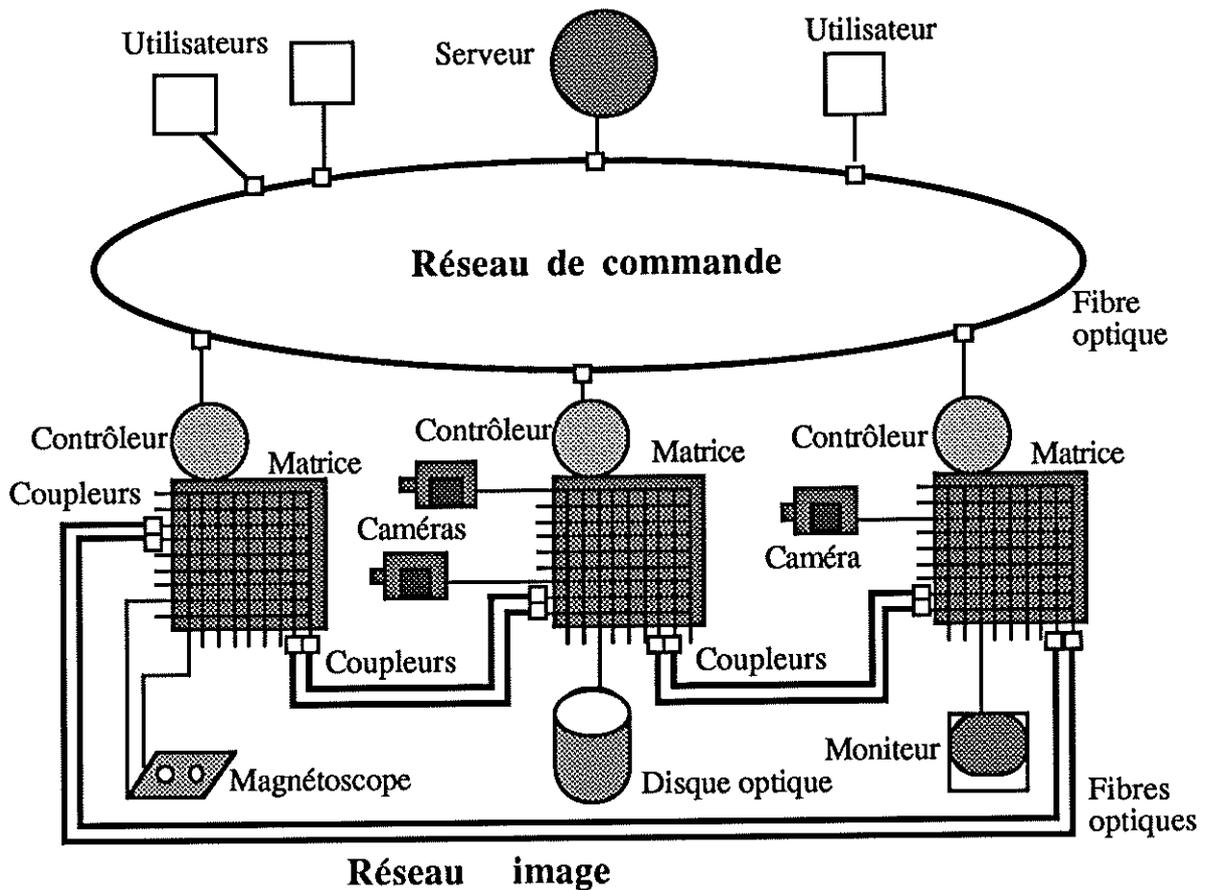


Figure 11 - Evaluation avec une panne de site

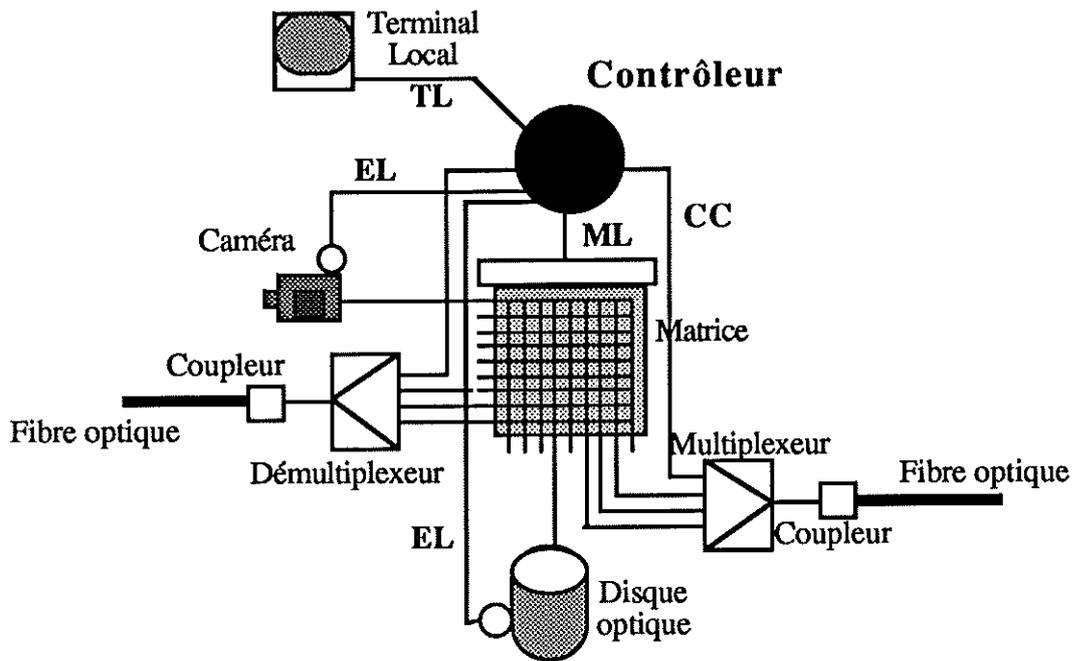




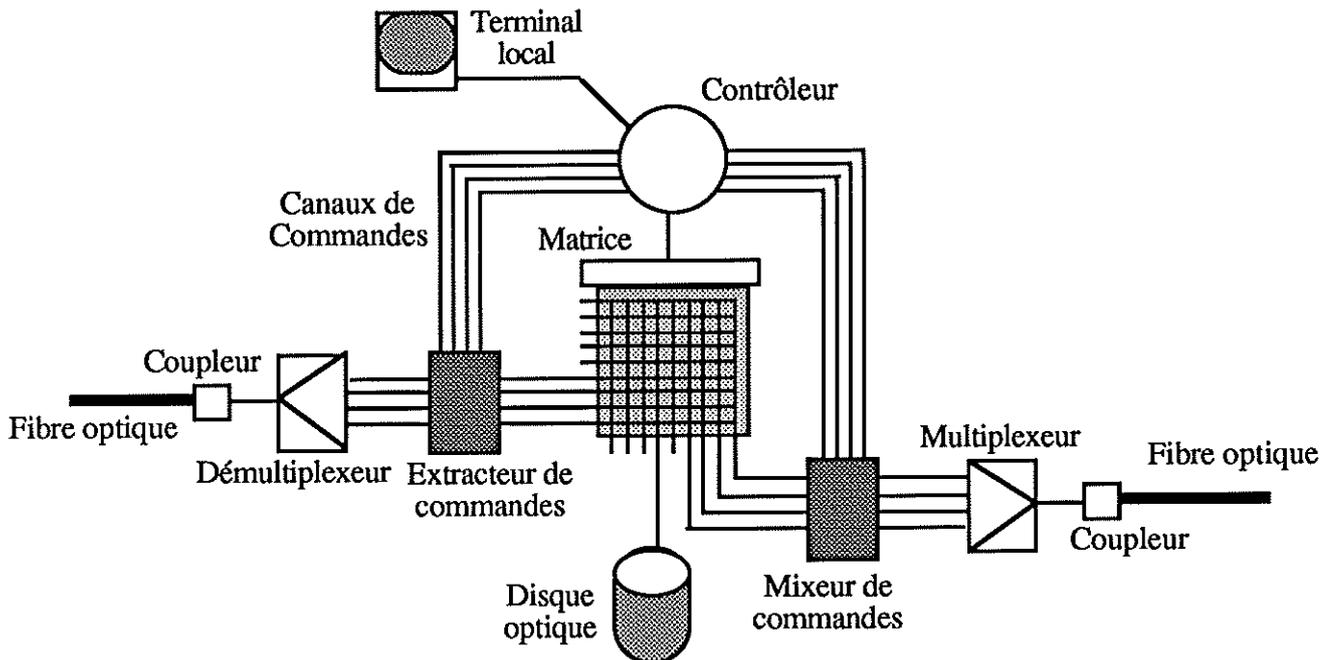
- Figure 12 - Architecture avec multiplexage -



- Figure 13 - Architecture générale du réseau de vidéocommunication -



- Figure 14 - Fonctions du contrôleur -



- Figure 15 - Extracteur/Mixeur de commandes -

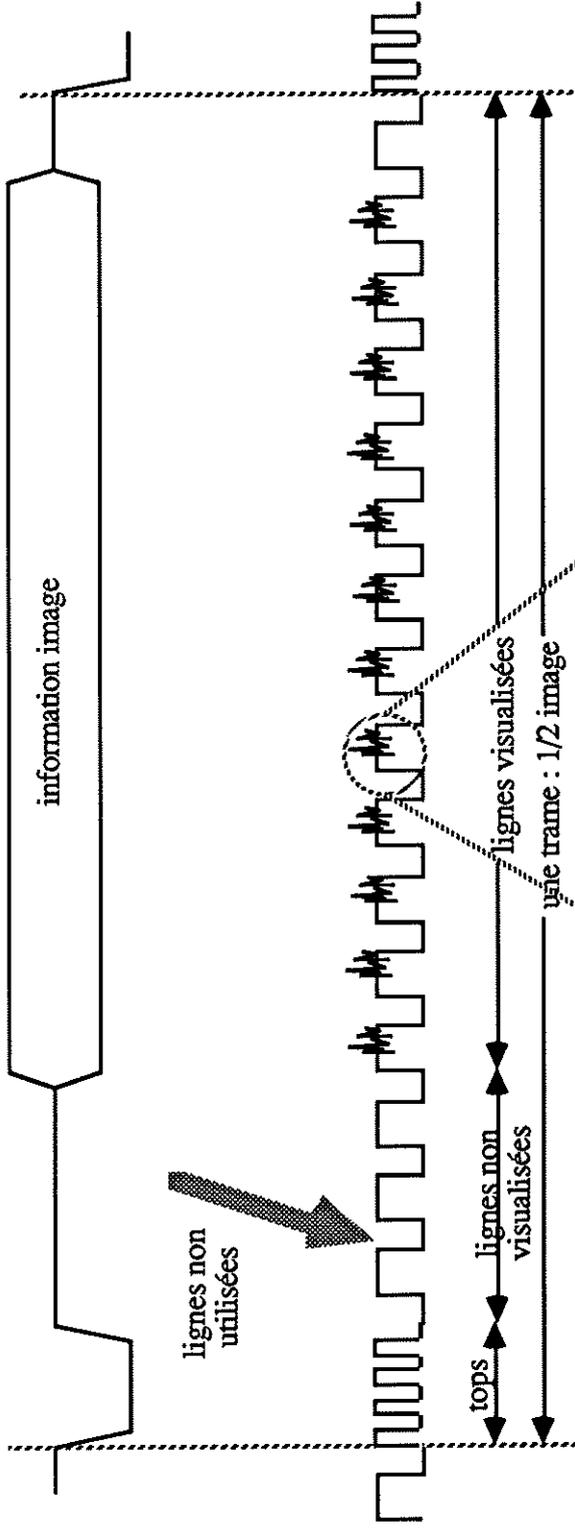


Figure 16 - Format général d'une trame -

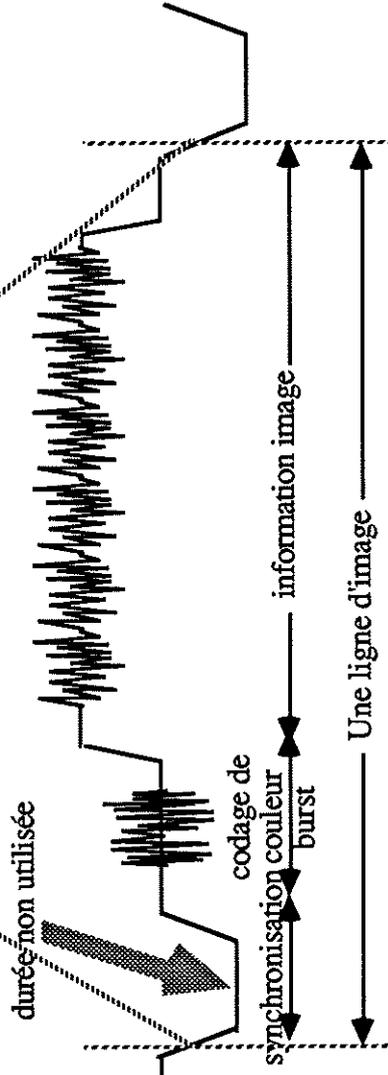


Figure 17 - Codage général d'une ligne vidéo -

