

référence



**France Telecom
CNET**

CNRS

PROJET CESAME
CONCEPTION FORMELLE
DE
SYSTEMES DISTRIBUES COOPERATIFS
HAUT DEBIT MULTIMEDIA

**Etude de la perte de synchronisation dans la
transmission de données multimédia et
mécanismes de confinement**

Richard CASTANET%

Bernard COUSIN*

Alain LEGER#

Gagnon VIHO*

* IRISA - Campus de Beaulieu - 35042 Rennes cedex
% LaBRI - 351, Cours de la libération - 33405 Talence cedex
CCETT - 4, rue du Clos Courtel - BP 59 - 35512 Cesson-Sévigné cedex
e-mail : {viho, bcousin,} @irisa.fr, castanet@labri.u-bordeaux.fr, leger@ccett.fr

Rapport du marché CNET France Télécom 92 1B 178 - Lot 2

Mai 1994

Introduction

L'ensemble des informations multimédia à transmettre à un instant donné peut être vu comme un *faisceau* de données composé de différents *flux* (flux d'images, flux de sons, flux de textes, etc.). Un des problèmes fondamentaux dans le domaine de la transmission de données multimédia est la synchronisation des différents flux composant un faisceau. En effet, l'information élémentaire d'un flux doit souvent être présentée en même temps que des informations élémentaires d'autres flux du même faisceau (par exemple, image/son).

Divers mécanismes sont utilisés pour le maintien de la synchronisation des flux. Toutefois, il arrive que malgré cela, on observe des pertes de synchronisation dues notamment à la gigue, à des interruptions inattendues du flux ou à la congestion sur le réseau de transmission. Généralement le choix alors effectué consiste à ignorer les données arrivant lors de la phase de désynchronisation (entre l'instant où l'on observe la perte de synchronisation et l'instant où a lieu la reprise).

Dans cet article, nous étudions l'influence de la perte de la synchronisation *intra-flux* (à l'intérieur de chacun des flux) et *inter-flux* (liant les flux d'un faisceau). Nous montrons comment utiliser la spécification des contraintes de synchronisation intra-flux et inter-flux pour proposer des mécanismes, que nous appelons *mécanismes de confinement*, permettant de masquer au mieux la phase de désynchronisation.

1 Contexte de l'étude

Un flux peut être défini comme un ensemble d'unités d'information reliées entre-elles par des contraintes de synchronisation [1, 4]. Nous supposons qu'il existe un service de transport de données chargé d'assurer le transfert de flux entre plusieurs entités de niveau supérieur, situées sur des sites distants. Or, la transmission d'un flux de données multimédia à travers un réseau asynchrone engendre des décalages temporels entre les unités d'information. Il est donc indispensable de mettre en œuvre au-dessus du service de transport (et au-dessous du niveau application) des mécanismes pour préserver (vis-à-vis des entités de niveau application) les contraintes de synchronisation des flux transmis [2, 3]. Dans l'architecture de communication multimédia, c'est le rôle du système de communication d'assurer le transfert d'un faisceau (composé de plusieurs flux) soumis par une entité application et de présenter correctement aux entités du niveau application distantes un faisceau en provenance du service de transport (cf figure 1). En termes de service, il s'agit de résoudre ce problème principalement vis-à-vis du faisceau

Perte de synchronisation et mécanismes de confinement

présenté, c'est-à-dire qu'à partir du faisceau reçu, comment faire pour que le faisceau présenté respecte les contraintes de synchronisation imposées sur le faisceau ?

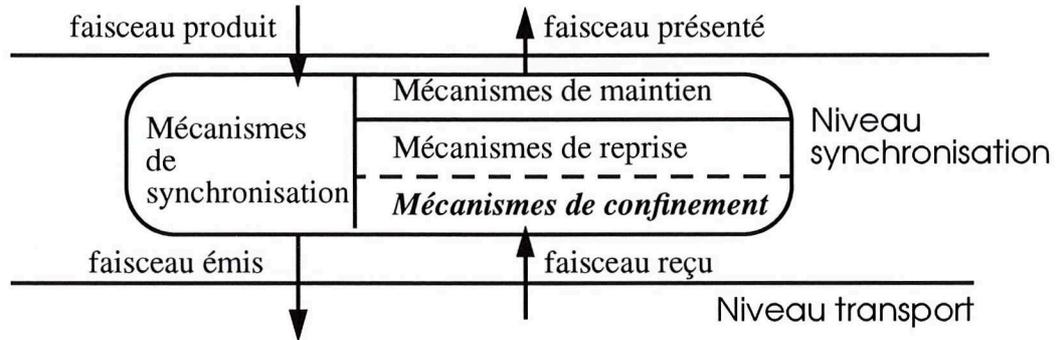


Figure 1 : Architecture de communication

Divers mécanismes ont été ainsi définis [2, 3, 4, 6, 17, 18] pour le maintien de la synchronisation des flux. Malgré cela, les phénomènes tels que la gigue, des interruptions inattendues du flux ou la congestion sur le réseau de transmission mettent parfois en défaut ces mécanismes. On observe alors une perte de synchronisation. La perte de synchronisation intra-flux peut être définie comme l'instant où l'on observe un non-respect des contraintes de synchronisation liant les unités d'information du flux, *ceci malgré les mécanismes mis en œuvre pour le maintien de la synchronisation*. De même, la perte de synchronisation inter-flux est l'instant où l'on observe le non-respect des contraintes de synchronisation liant les flux du faisceau.

Le système de communication doit alors mettre en œuvre des mécanismes pour effectuer la reprise de synchronisation mais également des *mécanismes de confinement* destinés à masquer la désynchronisation dans l'intervalle de temps séparant la perte de synchronisation et la reprise de synchronisation (cf figure 2).

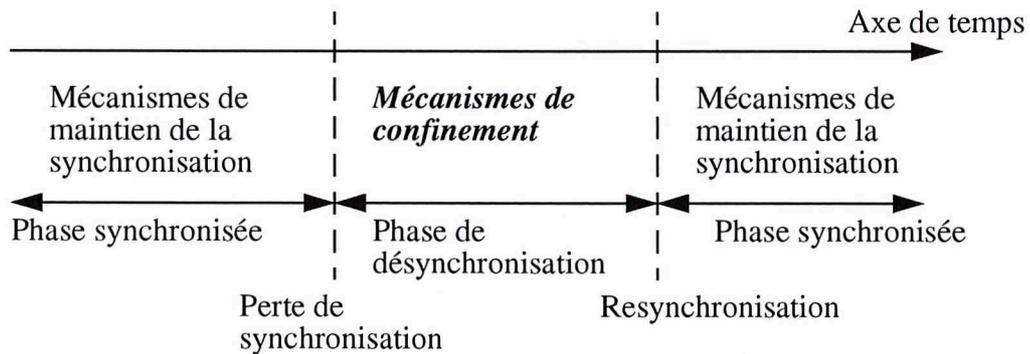


Figure 2 : Vie d'un faisceau et mécanismes de synchronisation

Nous n'envisageons ici que l'étude des transmissions point à point de flux d'un faisceau et de leur synchronisation. Nous caractérisons ensuite formellement la perte de synchronisation intra-flux et inter-flux. Pour chacune de ces pertes, nous proposons alors des mécanismes de confinement ainsi que leurs définitions formelles respectives. Pour finir, nous montrons comment utiliser les contraintes de synchronisation liant les flux pour réaliser la reprise de synchronisation.

2 Services de synchronisation intra-flux et caractérisation de la perte de synchronisation intra-flux

Les contraintes de synchronisation liant les unités d'information d'un flux sont généralement définies en termes de préservation d'une certaine *signature temporelle* sur les unités d'information. Par exemple, si on considère qu'une unité d'information est une image entière dans un flux d'images animées, alors une contrainte de préservation de la signature temporelle peut s'exprimer comme suit : "une image doit être présentée toutes les 25^{ème} de seconde".

La notion d'unité d'information dépend non seulement du type de média [4] mais également du niveau de synchronisation exigé sur le média. Nous noterons A_k , la $k^{\text{ème}}$ unité d'information d'un flux A. Le flux A est alors la suite formée par l'ensemble de ses unités d'information, noté : $A = \langle A_k \rangle$.

2.1 Expression des contraintes de synchronisation intra-flux

Un *flux contraint* est un flux muni d'une contrainte de synchronisation. Une contrainte de synchronisation C sur un flux A peut se traduire par la contrainte sur chaque unité d'information A_k constitutive du flux. Nous exprimons cela de la manière suivante :

$$C(A) = \langle C(A_k) \rangle \quad (1)$$

Dans l'expression précédente $C(A_k)$ peut être la date absolue de présentation souhaitée pour l'unité d'information A_k , ou la date relative par rapport à une unité d'information quelconque A_j , ou encore toute autre expression (sous la forme de dépendance causale par exemple) décrivant la contrainte à imposer sur A_k pour respecter la contrainte de synchronisation C sur l'ensemble du flux A. Dans un premier temps, nous supposons que $C(A_k)$ désigne une date absolue. Ainsi par exemple, la préservation de la signature temporelle sur un flux A peut s'exprimer par la date à laquelle on devrait présenter les unités d'information : $C(A_k)$ désigne alors cette date pour l'unité d'information A_k du flux A. Si nous notons $P(A_k)$ la date de présentation effective de l'unité

d'information A_k , alors la *préservation de la signature temporelle* sur le flux A s'exprime de la manière suivante :

$$\forall k, P(A_k) = C(A_k) \quad (2)$$

Nous notons $R(A_k)$, la date de réception effective de l'unité d'information A_k . Toujours pour simplifier nos propos, nous supposons que le temps de présentation est nulle. Cela correspond à un temps de traitement de synchronisation nulle (ou encore à une puissance de traitement infini) et se traduit par : $P(A_k) = R(A_k)$, $\forall k$. Dans le cas contraire, il suffirait de définir la relation liant $R(A_k)$ et $P(A_k)$.

La condition serait systématiquement satisfaite si l'on suppose que le délai de transmission est constante, c'est à dire que le réseau de transport offrirait alors un service synchrone. Or cette hypothèse est peu réaliste car le délai de transmission dans les réseaux informatiques varie au cours du temps avec la charge du réseau. Cette variabilité peut être due à des phénomènes tels que, les interruptions inattendues du flux ou la congestion sur le réseau de transmission,... On observe alors une perte de synchronisation.

2.2 Caractérisation de la perte de synchronisation intra-flux

Pour une unité d'information A_k d'un flux A , $r(A_k)$ signifiera que l'on a reçu A_k et $\bar{r}(A_k)$ indique la non-réception de A_k . Remarquons que si l'on a $r(A_k)$ alors on a une valeur pour la date effective de réception $R(A_k)$ de l'unité d'information A_k .

On observe *une perte de synchronisation intra-flux* (due à un non-respect de la signature temporelle) à un instant t sur une unité d'information A_k , notée par $perte_S(A_k, t)$ si et seulement si :

$$perte_S(A_k, t) \Leftrightarrow (\bar{r}(A_k) \text{ et } (t > C(A_k))) \text{ ou } (r(A_k) \text{ et } R(A_k) > C(A_k)) \quad (3)$$

Ceci correspond à une détection instantanée de la perte de synchronisation intra-flux. La première partie de l'expression précédente signifie que l'on n'a pas reçu A_k et que la date de présentation $C(A_k)$ souhaitée pour A_k est dépassée. La deuxième partie signifie que l'on a reçu A_k mais plus tard que la date de présentation souhaitée pour A_k (permettant de préserver la contrainte globale $C(A)$ imposée sur le flux).

La détection à postériori (après le déroulement du flux) ne fait plus intervenir l'instant de la détection et s'écrit alors comme suit :

$$perte_S(A_k) \Leftrightarrow (\bar{r}(A_k)) \text{ ou } (r(A_k) \text{ et } R(A_k) > C(A_k)) \quad (4)$$

Ceci veut dire que l'on n'a jamais reçu A_k ou qu'on l'a reçu plus tard que sa date de présentation souhaitée.

Perte de synchronisation et mécanismes de confinement

Bien que n'étant généralement pas considérée comme une contrainte de synchronisation, la préservation de l'ordre peut être exigé d'un flux sur lequel on impose aucune contrainte temporelle. C'est l'exemple d'une séance de projection de diapositives où l'essentiel est que les diapositives arrivent dans l'ordre.

Dans tous les cas, la *préservation de l'ordre* revient à dire qu'une unité d'information A_k doit être présentée avant A_{k+1} , quelque soit k . Cela s'exprime aisément de la manière suivante :

$$\forall (i, j) \quad i < j \Rightarrow P(A_i) < P(A_j) \quad (5)$$

Lorsqu'une perte de synchronisation est observée, il faut mettre en œuvre des mécanismes pour la reprise de synchronisation. L'attitude généralement adoptée consiste alors à ne pas tenir compte des unités d'information arrivant dans l'intervalle séparant l'instant où la perte de synchronisation intervient et l'instant où aura lieu la reprise de synchronisation. Or, il est possible de gérer en parallèle avec la reprise et de manière judicieuse (en tenant compte des contraintes de synchronisation) cette *phase de désynchronisation*. L'objectif à atteindre ici étant de masquer la désynchronisation en offrant un service de synchronisation qui se rapproche le plus possible du service global initial. C'est la raison pour laquelle, nous appelons les mécanismes mis en œuvre à cet effet, les *mécanismes de confinement*.

2.3 La phase de désynchronisation intra-flux et mécanismes de confinement

Nous définissons la fonction de présentation X qui à un instant t donné, associe l'unité d'information d'un flux présenté à cet instant. Une fonction de présentation qui préserve la contrainte C sur un flux A vérifie alors $X(C(A_k)) = A_k, \forall k$. En effet, si l'on suppose que l'on a préservation de la contrainte C alors : $P(A_k) = C(A_k), \forall k$. Par hypothèse le temps de présentation est nulle, $P(A_k) = R(A_k) \forall k$, alors à l'instant $t = C(A_k)$, on a toujours $r(A_k)$. Donc $X(t) = X(C(A_k)) = A_k, \forall k$.

La fonction de présentation peut s'écrire formellement de la manière suivante :

$$X(t) = \begin{cases} \text{si } t = C(A_k) \\ \text{alors si } r(A_k) \text{ alors } A_k \text{ fsi} \\ \text{fsi} \end{cases} \quad (6)$$

Lorsqu'on ne dispose pas de mécanismes de confinement ni de reprise de synchronisation, la fonction X décrit les mécanismes de maintien de la synchronisation. L'expression (6) signifie que l'on présente uniquement les unités d'information que l'on reçoit à temps. Elle représente une situation idéale où les unités d'information sont reçues à temps. Ainsi, si on observe une perte de synchronisation à un instant t , on n'a pas de définition associée à $X(t)$.

Perte de synchronisation et mécanismes de confinement

Il est donc nécessaire de prévoir les cas de perte de synchronisation dans la fonction de présentation. C'est le rôle des mécanismes de confinement qui va donc consister à associer une valeur (c'est à dire une unité d'information) à $X(C(A_k))$ lorsque l'on n'a pas reçu A_k à temps. Dans ce cas, la fonction de présentation s'écrit :

$$X(t) = \begin{cases} \text{si } t = C(A_k) \\ \text{alors si } r(A_k) \text{ alors } A_k \\ \text{sinon } < \text{confinement}(t) > \\ \text{fsi} \\ \text{fsi} \end{cases} \quad (7)$$

Différents mécanismes de confinement peuvent être envisagés, par exemple en présentant la dernière unité d'information que l'on a correctement reçue, ou encore en présentant une interpolation de cette dernière, etc.

Considérons le mécanisme de confinement qui consiste à présenter l'unité d'information précédente. La fonction de présentation s'écrirait alors :

$$X(t) = \begin{cases} \text{si } t = C(A_k) \\ \text{alors si } r(A_k) \text{ alors } A_k \\ \text{sinon } A_{k-1} \\ \text{fsi} \\ \text{fsi} \end{cases} \quad (7\text{bis})$$

Malheureusement, on s'aperçoit que ce mécanisme de confinement est particulièrement frustré et peu efficace. En effet, l'unité d'information précédente n'est pas forcément reçue. Il convient donc de raffiner un peu plus le mécanisme de confinement par exemple pour récupérer la dernière unité d'information correctement reçue et présentée. Pour ce faire nous définissons la fonction *dernier_sauf* qui à un instant t , associe la dernière unité d'information A_j sur laquelle, on n'a pas observé une perte de synchronisation. Cette fonction s'écrit formellement de la manière suivante :

$$\text{dernier_sauf}(A, t) = A_j / \overline{\text{perte_S}}(A_j, t) \text{ et} \\ ((\forall i > j / (C(A_i) < t), \text{perte_S}(A_i, C(A_i)))) \quad (8)$$

Une fonction de présentation qui utilise le mécanisme de confinement présentant la dernière unité d'information correctement reçue s'écrit alors de la manière suivante :

$$X(t) = \begin{cases} \text{si } t = C(A_k) \\ \text{alors si } r(A_k) \text{ alors } A_k \\ \text{sinon } \text{dernier_sauf}(A, t) \\ \text{fsi} \\ \text{fsi} \end{cases} \quad (9)$$

Perte de synchronisation et mécanismes de confinement

Par la suite, nous appellerons ce mécanisme de confinement le *dernier_sauf*. Bien que moins frustré que le mécanisme de confinement défini en (7bis), on s'aperçoit que l'efficacité du *dernier_sauf* peut dépendre du type de codage utilisé pour le flux. Pour illustrer notre propos, considérons les trois types de codage suivants sur un flux d'images :

- *codage indépendant* (du type M-JPEG[11]), où le codage/décodage des unités d'information s'effectue indépendamment l'une de l'autre. L'unité d'information est notée ici I (pour codage indépendant). Le flux est alors constitué uniquement d'images I.

Si l'on observe une perte de synchronisation sur une unité d'information, alors le *dernier_sauf* correspond à l'image précédemment présentée.

Notons ici que sur un flux de sons, l'effet du *dernier_sauf* donne une impression de continuité que l'on perçoit difficilement sur un flux d'images. En effet, lorsqu'il y a une perte de synchronisation sur un flux sons et qu'on ne dispose pas de mécanismes de confinement, cela se traduit par un son haché.

- *codage différentiel unidirectionnel* (du type H261[12]), où le codage/décodage d'une unité d'information peut dépendre de la précédente unité d'information. Dans ce cas, l'unité d'information est notée P.

S'il y a une perte de synchronisation sur une quelconque des unités d'information, alors on présente (comme dans le cas précédent) la précédente (I ou P) correctement présentée. Par contre, la reprise de synchronisation ne peut se faire que sur une unité d'information I.

- *codage différentiel bidirectionnel* (du type MPEG[13]), où le codage/décodage d'une unité d'information peut dépendre d'une unité d'information précédente et/ou suivante. Aux deux autres types d'unité d'information précédents, se rajoute celle que l'on note B dont le codage dépend à la fois d'une unité d'information précédente et future de type I ou P.

En cas de perte de synchronisation sur des unités d'information de type I ou P, on a le même traitement que dans le codage précédent. Par contre, si on observe une perte de synchronisation sur unité d'information de type B, le *dernier_sauf* ne peut être qu'une unité d'information de type I ou P. En effet, comme par définition une unité d'information B dépend à la fois d'une unité d'information précédente et future, une perte de synchronisation sur une unité d'information B ne peut provenir que de la non-réception (pas à temps) de l'unité d'information future. Donc, la perte de synchronisation a lieu sur la première unité d'information B (après une unité d'information I ou P). Le *dernier_sauf* va donc consister à présenter la précédente unité d'information I ou P.

L'inconvénient dans ce cas étant alors que l'unité d'information ainsi présentée soit "ancienne" dans le déroulement du flux. C'est le cas par exemple si l'intervalle de

temps séparant deux unités d'information de type I ou P est "assez long". Dans MPEG-video, un paramètre permet de fixer le nombre M d'unités d'information B . L'efficacité du mécanisme de confinement est inversement proportionnelle à la valeur de M .

Nous avons montré dans ce paragraphe, l'intérêt que peut avoir le mécanisme de confinement dans la présentation d'un flux pour masquer la perte de synchronisation intra-flux. Or dans les applications multimédia, un flux est toujours combiné à d'autres flux (formant ainsi un faisceau) avec des contraintes de synchronisation inter-flux liant les unités d'information de différents flux. Il faut donc mettre en œuvre des mécanismes de confinement inter-flux destinés à masquer la perte de synchronisation sur un faisceau.

3 Services de synchronisation inter-flux et mécanismes de confinement inter-flux

L'ensemble des informations multimédia à transmettre peut être vu comme un *faisceau* de données composé de différents *flux* (flux d'images, flux de sons, flux de textes, ...). C'est le rôle du système de communication d'assurer le service de synchronisation des faisceaux exigée par les entités-applications. Il va donc s'agir de présenter l'ensemble des unités d'information qui composent les différents flux en respectant les contraintes de synchronisation liant ces flux du faisceau. Pour ce faire, le système de communication a besoin d'identifier l'objet élémentaire du faisceau. Il nous faut donc introduire pour le faisceau une notion équivalente à celles des unités d'information pour le flux.

3.1 Définition d'un faisceau - notion de couplage et de tranches

Un *couplage* exprime les contraintes de synchronisation liant des unités d'information des différents flux composant un faisceau. Tout ensemble d'unités d'information de différents flux associés par un couplage est appelé *tranche* du faisceau. Un faisceau est alors totalement défini par la suite de tranches qui la composent.

De manière analogue à l'unité d'information pour le flux, une tranche constitue un objet élémentaire du faisceau. Nous noterons F_k la $k^{\text{ème}}$ tranche d'un faisceau F . Un faisceau F sera alors noté :

$$F = \langle F_k \rangle \quad (10)$$

Considérons un faisceau F composé de deux flux A et B. Un couplage \mathcal{L} décrivant la contrainte de synchronisation entre A et B peut être défini comme suit:

$F_k = \mathcal{L}((A_{k1}, A_{k2}, \dots, A_{km}), (B_{k1}, B_{k2}, \dots, B_{kn}))$ où $A_{k1}, A_{k2}, \dots, A_{km}$ est un ensemble d'unités d'information du flux A et $B_{k1}, B_{k2}, \dots, B_{kn}$ un ensemble d'unités d'information du flux B

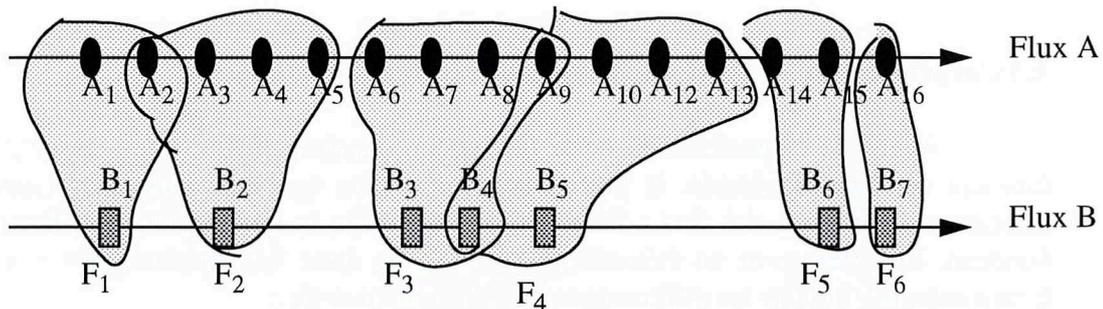


Figure 3 : Un exemple de couplage - Définition d'un faisceau F

Il existe plusieurs manières de définir un couplage. On peut l'exprimer par exemple sous la forme de dépendances causales entre les unités d'information [5]. Dans un premier temps, nous considérons un cas particulier de couplage où les unités d'information sont reliées deux à deux (par un couplage biunivoque), c'est à dire que la tranche F_k est composé de l'unité d'information A_k du flux A et de l'unité d'information B_k du flux B. Nous notons cela de la manière suivante : $F_k = (A_k, B_k), \forall k$.

Le rôle du système de communication consiste alors à présenter les tranches du faisceau à l'entité de niveau supérieur en respectant les contraintes de synchronisation imposées sur le faisceau.

3.2 Expression de contraintes de synchronisation inter-flux

Compte tenue de la définition des tranches, toutes les définitions et notions temporelles définies pour les unités d'information s'appliquent également pour les tranches. Ainsi par exemple, un *faisceau contraint* est un faisceau muni d'une contrainte de synchronisation. Une contrainte de synchronisation C sur un faisceau F peut se traduire par la contrainte C sur chaque unité d'information F_k constitutive du faisceau. Nous exprimons cela de la manière suivante :

$$C(F) = \langle C(F_k) \rangle \quad (11)$$

Nous supposons (comme pour les flux) que $C(F_k)$ représente la date absolue de présentation exigée sur la tranche F_k .

De manière analogue, $R(F_k)$ désignera la date de réception de la tranche F_k et $P(F_k)$ désignera la date de présentation effective de la tranche F_k .

La *préservation de la signature temporelle* du faisceau F s'exprime alors de la manière suivante :

$$\forall k, P(F_k) = C(F_k) \quad (12)$$

3.3 Caractérisation de la perte de synchronisation inter-flux

Avant de caractériser la perte de synchronisation, il faut que s'assurer que le faisceau est synchronisable. Il faut d'abord s'assurer que les contraintes (intra-flux) imposées sur chacun des flux soient compatibles avec la contrainte (inter-flux) sur le faisceau. En effet, pour un faisceau F composé de deux flux quelconques A et B , la figure suivante montre les différents cas que l'on peut avoir::

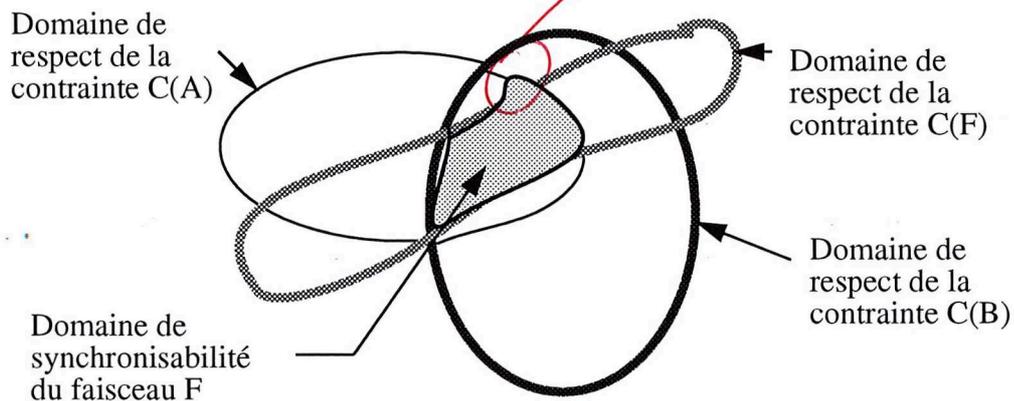


Figure 4 : Synchronisabilité d'un faisceau

En d'autres termes, il faut garantir qu'avec $C(A)$, $C(B)$ et $C(F)$, on est dans le domaine de synchronisabilité de F . Ainsi par exemple, pour que le faisceau $F = (A, B)$ soit synchronisable, nos hypothèses (de couplage biunivoque et de dates absolues) imposent que l'on ait : $C(A) = C(B)$. C'est à dire, il faut que : $\forall k, C(A_k) = C(B_k)$.

Nous supposons par la suite que le faisceau est synchronisable. Nous considérons toujours qu'une tranche est composée de deux unités d'information des deux flux réunies par un couplage biunivoque. Dans ce cas-ci, il est évident que la perte de synchronisation inter-flux est nécessairement due à une perte de synchronisation concernant au moins une unité d'information d'au moins un des flux. Comme pour le flux et toujours pour simplifier, nous supposons que le temps de présentation est nulle. La perte de

Perte de synchronisation et mécanismes de confinement

synchronisation sur une tranche F_k s'exprime alors de la manière suivante :

$$perte_S(F_k, t) \Leftrightarrow \exists X \in \{A_k, B_k\} / (\bar{r}(X)) \underline{et} (t > C(X)) \underline{ou} \\ (r(X)) \underline{et} (R(X) > C(X)) \quad (13)$$

Remarquons que cette perte de synchronisation influe non seulement sur le comportement général du faisceau mais également sur la synchronisation intra-flux de chacun des flux. En effet, si cette perte de synchronisation inter-flux (du faisceau) est due à A_k , alors il est évident que le flux A perd également sa synchronisation intra-flux : on ne peut plus garantir la contrainte $C(A)$. Comme de toute façon la synchronisation inter-flux ne peut plus être préservée (du moins, jusqu'à la reprise), on a plusieurs solutions pour le flux B, parmi lesquelles :

- (i) arrêter la présentation du flux B .
- (ii) continuer la présentation du flux B continuer (respectant ainsi la synchronisation intra-flux $C(B)$).

Le choix (i) entraîne une perte de synchronisation intra-flux sur B alors que le choix (ii) n'influe pas sur le flux B et correspond à une fonction de présentation du faisceau ne disposant pas de mécanisme de confinement. Par contre, le fait de continuer à présenter le flux B dans le choix (ii) est déjà en soi un mécanisme de confinement sur le faisceau.

Malgré nos hypothèses (dates absolues, couplage biunivoque), d'autres choix dépendant des objectifs de présentation visés, peuvent être effectués. Ceci montre la nécessité de disposer de mécanismes de confinement non seulement sur les différents flux constituant le faisceau mais également sur le faisceau. Ces mécanismes de confinement sur le faisceau se traduisent par des actions sur les flux composant le faisceau, et peuvent de ce fait être différents des mécanismes de confinement sur un flux particulier lorsqu'il est traité indépendamment. En l'occurrence, il se peut que le *dernier_sauf* convienne à un flux lorsqu'il est traité de manière indépendante mais ne convienne pas lorsque ce flux est combiné avec un autre à travers un couplage pour former un faisceau. De manière analogue au flux, il faut donc également spécifier le mécanisme de confinement du faisceau.

3.4 La phase de désynchronisation inter-flux et mécanismes de confinement inter-flux

Comme nous l'avons fait pour un flux, nous pouvons définir la fonction de présentation Y d'un faisceau F intégrant un mécanisme de confinement. Cette fonction définit alors la tranche que l'on doit présenter à un instant donné. Elle s'écrit de la manière

Perte de synchronisation et mécanismes de confinement

suivante :

$$\begin{aligned}
 Y(t) = & \text{ si } t = C(F_k) \\
 & \text{ alors si } r(F_k) \text{ alors } F_k \\
 & \text{ sinon } < \text{confinement}(t) > \quad (14) \\
 & \text{ fsi} \\
 & \text{ fsi}
 \end{aligned}$$

Supposons toujours que le faisceau F est défini par un couplage biunivoque entre deux flux A et B et que nous voulions appliquer le mécanisme du *dernier_sauf* au faisceau F. Nous devons définir la fonction (également appelée *dernier_sauf*) qui à un instant t, associe la dernière tranche F_j sur laquelle, on n'a pas observé une perte de synchronisation. Cette fonction s'écrirait formellement de la manière suivante

$$\text{dernier_sauf}(F, t) = F_j / \overline{\text{perte_S}(F_j, t)} \text{ et } ((\forall i > j / (C(F_i) < t), \text{perte_S}(F_i, C(F_i)))) \quad (15)$$

Le mécanisme du *dernier_sauf* sur le faisceau n'influerait pas sur les synchronisations intra-flux si à tout instant t, l'on a :

$$\text{dernier_sauf}(A, t) \in \text{dernier_sauf}(F, t) \text{ et } \text{dernier_sauf}(B, t) \in \text{dernier_sauf}(F, t) \quad (16)$$

Or, si on reprend par exemple l'hypothèse que la perte de synchronisation inter-flux est causée par l'unité d'information A_k du flux A, alors le *dernier_sauf* appliqué au faisceau à l'instant $t=C(F_k)$ (l'instant où l'on doit normalement présenter $F_k = (A_k, B_k)$) implique la présentation de : $\text{dernier_sauf}(F, C(F_k)) = F_j = (A_j, B_j)$, avec $A_j \neq A_k$ et $B_j \neq A_k$. Alors que, le *dernier_sauf* intra-flux appliqué indépendamment au même instant $t=C(F_k)$ aux flux A et B donne : $\text{dernier_sauf}(A, C(F_k)) = A_j$ et $\text{dernier_sauf}(B, C(F_k)) = B_k$.

La condition (16) n'est donc pas vérifiée. Par ailleurs, le *dernier_sauf* inter-flux (sur le faisceau) dans ce cas fait alors présenter une unité d'information "ancienne" du flux B alors que l'on dispose de B_k . Le choix (i) du paragraphe précédent privilégie la synchronisation inter-flux alors que le choix (ii) privilégie la préservation de la synchronisation intra-flux B. En supposant que $j=k-1$, la figure 5 ci-après montre ce qui est présentée à l'instant $t=C(F_k)$ dans les 3 cas précédents.

On peut également choisir d'appliquer le *dernier_sauf* sur le flux A et présenter ainsi l'unité d'information A_{k-1} avec l'unité d'information B_k . Dans ce dernier cas, on ne présente pas une tranche mais deux unités d'information puisque A_{k-1} , et B_k ne peuvent pas être réunies par le couplage biunivoque (cf définition, paragraphe 3.1).

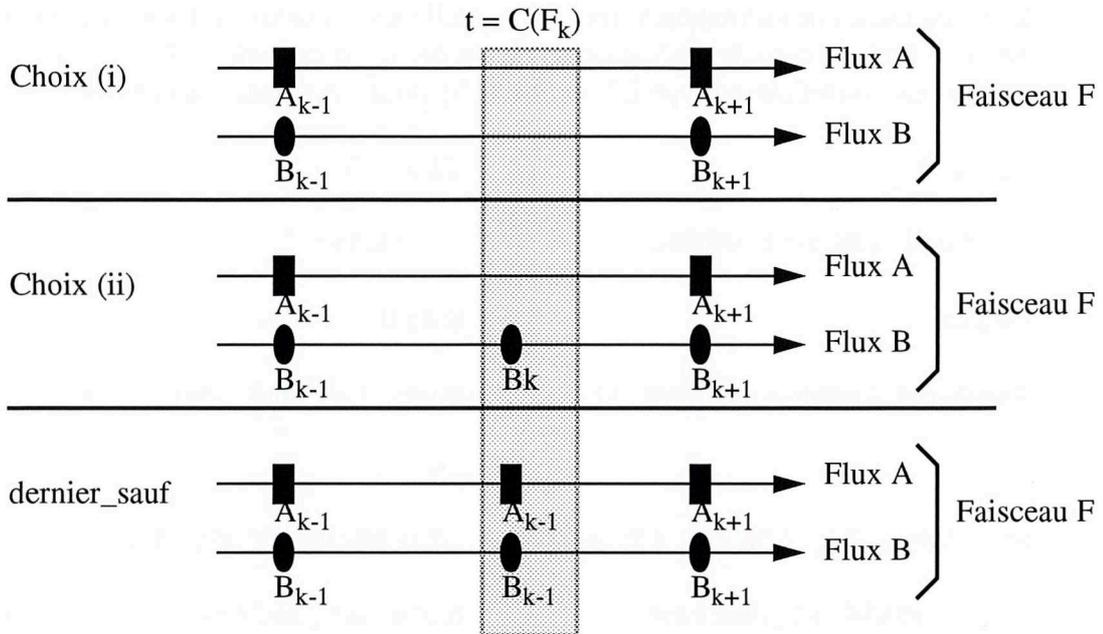


Figure 5: Conséquences des choix de confinement

Toutes ces possibilités montrent que les mécanismes de confinement inter-flux peuvent être plus complexes que les mécanismes de confinement intra-flux et qu'il faut des informations complémentaires dans la spécification des mécanismes de confinement inter-flux.

Un type d'information supplémentaire qui permettrait de raffiner le mécanisme de confinement serait par exemple de définir une sorte de priorité sur les différents flux intervenant dans la composition du faisceau. Ils existent plusieurs modèles permettant d'exprimer cette priorité [14, 15] : dépendances causales, notion de flux maître ou esclave, lien ET_maître, etc...

Quelque soit le moyen utilisé pour exprimer cette priorité, il convient de préciser quels mécanismes de confinement on souhaite mettre en œuvre sur un flux donné, lorsqu'il y a une perte de synchronisation inter-flux (indépendamment de ceux concernant la perte de synchronisation intra-flux). Il appartient ensuite au système de communication de vérifier la compatibilité de ces différents mécanismes [8,16].

3.5 Spécification des mécanismes de confinement inter-flux

Dans le paragraphe précédent, nous avons vu que l'on pouvait choisir les mécanismes de confinement à effectuer entre la perte et la reprise de synchronisation inter-flux. Pour ce faire, il convient de disposer d'un langage permettant leurs spécifications.

Perte de synchronisation et mécanismes de confinement

Dans [4], Steinmetz propose un ensemble de primitives permettant de spécifier les mécanismes de confinement (ce qu'il appelle les *exceptions*). En utilisant ces primitives, une spécification des mécanismes de confinement entre deux flux A et B synchronisés par une contrainte du type *ET_maitre* [15], pourrait s'écrire de la manière suivante :

```
Flux A :                               Flux B :
-- full-motion video                    -- audio

begin                                    begin
display(Césame_video_1)                 play(Césame_audio_1)
....                                     .....
SYNCHRONIZE WITH B AT end               SYNCHRONIZE WITH A AT end
    MODE ET_maitre                       MODE ET_maitre
WHILE WAITING                           WHILE WAITING
    display_last_image                   dernier_sauf
EXCEPTION                                EXCEPTION
    dernier_sauf                          play(music_BACH)
.....                                   .....
end;                                     end;
```

Dans cette spécification nous n'avons indiqué que les parties nécessaires au confinement inter-flux. Elle correspond par exemple au cas où, pendant la phase de désynchronisation, on opte pour le mécanisme du *dernier_sauf* pour la vidéo (flux A) et jouer un autre son (*music_BACH*) pour remplacer l'audio réel (flux B). Les primitives *display_last_image* et *dernier_sauf* sont supposées connues et implémentées dans le système de communication. Avec une telle spécification, c'est ensuite le rôle du système de communication de vérifier la compatibilité des mécanismes de confinement avec les contraintes inter-flux sur les flux A et B.

5 Conclusion

Nous avons étudié dans ce rapport la perte de synchronisation dans la transmission de données multimédia. Nous avons mis en évidence la possibilité de mettre en œuvre des mécanismes de confinement destinés à masquer la phase de désynchronisation qui suit la perte de synchronisation. Nous avons caractérisé formellement la perte de synchronisation intra-flux et inter-flux et avons défini formellement un mécanisme simple de confinement : le *dernier_sauf*. En considérant trois différents types de codages, nous avons montré que l'utilisation d'un tel mécanisme peut s'avérer intéressant pour un codage donné et inopportun pour d'autres.

Nous avons également montré que la réalisation du confinement inter-flux exigeait une spécification fine des contraintes de synchronisation entre les flux. Par ailleurs, nous avons montré qu'il est important pour le système de communication de savoir quel mécanisme de confinement il doit appliquer sur chacun des flux du faisceau. Ce qui nous a conduit à donner une manière de spécifier ces mécanismes.

Dans la suite de nos travaux, nous comptons généraliser l'étude de perte de synchronisation inter-flux en considérant des couplages plus lâches que le couplage biunivoque utilisé dans ce rapport, et en supprimant l'hypothèse de date absolue et de temps de traitement constant. Ceci nous donnera une caractérisation plus générale de la perte de synchronisation. Ainsi, nous pourrions définir d'autres mécanismes de confinement et leur implémentation dans quelques outils de transmission multimédia nous permettra de tester leurs efficacités.

Bibliographie

- [1] J.P. Courtiat, L.F.R.C. Carmo, P. de Saqui-Sannes, L. Besse, L. Dairaine & E. Horlait, "*Synchronisation multimédia : terminologie et concepts de base*", Rapport de projet Césame, Avril 1993.
- [2] P.V. Rangan, S. Ramanathan, H. M. Vin and T. Kaepfner, "*Techniques for Multimedia Synchronization in Network File Systems*", Computer Communication, vol. 16, no 3, April 1990
- [3] H. Santoso, L. Dairaine, S. Fdida and E. Horlait, "*Preserving Temporal Signature : a Way to Convey Time Constrained Flows*", Proceedings of GLOBECOM'93, IEEE Press
- [4] R. Steinmetz, "*Synchronization Properties in Multimedia Systems*", IEEE Journal on Selected Areas in Com., vol. 8, no 3, April 1990
- [5] J.P. Courtiat, L.F.R.C. Carmo and P. de Saqui-Sannes, "*Towards Multimedia Communication Services*", Proceedings of fourth Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems, Lisbonne, Sep. 1993

- [6] D.P. Anderson, G. Homsy, "A Continuous Media Input/Output Server and its Synchronization Mechanism", IEEE Computer, Vol 24, no 10, Oct. 1991
- [7] C. Nicolaou, "An Architecture for Real-Time Multimedia Communication Systems", IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Vol 8, no 3, April 1990
- [8] T. Little & A. Ghafoor, "Multimedia Synchronization Protocols for Broadband Integrated Services", IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Vol 9, no 9, Dec. 1991
- [9] J. Escobar, D. Deutsch and C. Partridge, "Flow Synchronization Protocol", Research Report BBN, 10 Moulton Street, Cambridge, MA02138, USA (March 1992)
- [10] R. Steinmetz and C. Engler, "Human Perception of media Synchronization", Research Report, IBM European Networking Center, N° 43.9310 (1993)
- [11] G.K. Wallace, "The JPEG Still Picture Compression standard", Communications of the ACM, vol 34, pp 31-43, Apr. 1991.
- [12] CCITT, "Recommendation H.261 : Video codec for audiovisual services at p*64 kbits/s", CCITT white book, 1990
- [13] "Recommendation H. 262 : Generic Coding of Moving pictures and Associated Audio, MPEG", ISO/IEC 13818-2, November 1993
- [14] L.F.R.C. Carmo, J.P. Courtiat & P. de Saqui-Sannes, "Implementing Inter-Stream Synchronization by means of Conditional Dependency Expressions", LAAS Technical Report, October 1993.
- [15] M. Diaz, P. Sénac & P. de Saqui-Sannes, "Synchronisation et objets multimédias", Rapport Césame, Juillet 1993.
- [16] T. Bloom, "Evaluating synchronization mechanisms", in Proc. 7th Symp. Oper. Syst. principles, Dec. 10-12, pp 24-32, 1979, Pacific Grove, CA.
- [17] CCETT, "Multimedia Synchronization", CCETT Int. note : AFNOR adhoc group on AVI standardization, July 1988.
- [18] S.R. Faulk & D. L. Parnas, "On synchronization in hard-real-time systems", Comm. ACM, vol. 31, n° 3, pp. 274-287, Mar. 1988.