

PLASMA : un Protocole de Liaison à Support Multi-Anneaux

C. Colin* B. Cousin° P. Estrailier ° B.Loyer*

° Laboratoire MASI - CNRS /U.A 818 - PRC C³
Université Pierre et Marie CURIE
Tour 65-66 , bureau 201
4, place JUSSIEU - PARIS - 75252

* ALCATEL-CIT Commutation
BP 344
22304 LANNION Cedex

Résumé

Nous proposons un protocole original (appelé **PLASMA**) qui utilise la redondance des supports de transmission (plusieurs anneaux à jeton) pour rendre plus fiables et plus performants les transferts de données dans les réseaux locaux. Il permet de corriger par **basculement** les fautes majeures et par **retransmission** les fautes transitoires.

Ce protocole s'intercale entre les sous-couches MAC et LLC définies dans la norme de la couche Liaison pour les réseaux locaux. Il utilise les interfaces de la sous-couche MAC tout en restant **transparent** à la sous-couche LLC

Pour modéliser notre protocole et pour analyser le modèle, nous utilisons une classe des Réseaux de Petri colorés : les **Réseaux Ordonnés**.

Le modèle et les résultats obtenus sont paramétrés, aussi notre protocole est validé pour n'importe quel nombre d'anneaux à jeton et pour n'importe quelle largeur de la fenêtre de réception.

1. Introduction

Dans les systèmes distribués, l'utilisation de la **redondance** des éléments matériels permettant aux stations de communiquer autorise l'accroissement de la **fiabilité** des traitements et l'augmentation des performances. Cependant, l'utilisation de plusieurs supports de communication induit des problèmes de gestion de la redondance, de synchronisation, d'équilibrage de la charge, et de préservation de la qualité des transferts (séquencement, unicité).

Cet article présente le protocole **PLASMA** qui permet de résoudre ces problèmes. Il gère le transfert de trames sur plusieurs **anneaux à jeton**. Ce travail est effectué dans le cadre de la définition, par Alcatel CIT Commutation, d'un réseau local fiable interconnectant des unités contrôlant les échanges téléphoniques.

Le protocole **PLASMA** repose sur l'utilisation de **liaisons** logiques reliant une application émettrice à une ou plusieurs applications réceptrices.

- . En phase normale, les liaisons sont équitablement réparties sur l'ensemble des supports existants.
- . En cas de panne transitoire, la ou les trames impliquées sont réémises sur un autre support : c'est la **retransmission**.
- . En cas de panne majeure (non transitoire), la ou les liaisons impliquées sont réparties sur un des supports restants : c'est le **basculement**.

PLASMA : un protocole de liaison à support multi-anneaux

Le protocole PLASMA est conçu pour les applications nécessitant un taux important de disponibilité des liaisons et un faible délai de transfert; c'est le cas des applications téléphoniques. Pour obtenir le délai de réaction le plus faible possible, nous l'avons délibérément situé dans la couche Liaison, entre les sous-couches MAC et LLC [ISO 8802/5, ISO 8802/2] (Figure 1).

En utilisant la redondance des supports, ce protocole offre une meilleure qualité de service que celle du niveau MAC. Mais ce gain demeure **transparent** à couche LLC dans la mesure où PLASMA présente les mêmes primitives d'interfaces que le niveau MAC.

Le chapitre 2 rappelle les primitives d'interfaces utilisées et introduit informellement le protocole PLASMA. Le chapitre 3 propose un modèle complet du protocole. Nous utilisons une classe de réseaux de Petri colorés : les **Réseaux Ordonnés** [Couvreur 88]. Le chapitre 4 présente les résultats obtenus par l'analyse du modèle et les interprète pour exprimer les propriétés du protocole.

2.- Présentation de PLASMA

2.1- Interfaces normalisées

Selon les normes d'interconnexion, les différentes couches ou niveaux adjacents communiquent à l'aide de primitives de services. Dans la norme pour les réseaux locaux [ISO 8802/2] trois types de primitives ont été définies :

- Requête: La couche (N) transmet une requête de service à la couche inférieure (N-1)
Confirmation : La couche (N-1) indique à la couche (N) que la requête a été prise en compte; c'est à dire que la transmission demandée par la couche (N) a été possible (confirmation positive) ou impossible (confirmation négative). Elle n'atteste en aucun cas de la réception par l'entité destinatrice de la couche (N).
Indication: La couche (N-1) informe la couche (N) qu'un service doit être exécuté.

Les primitives d'interfaces entre PLASMA/MAC sont celles définies par la norme pour l'interface LLC/MAC :

Interface PLASMA-LLC

PL-DATA.Req : Requête d'émission d'un message
PL-DATA.Conf : Confirmation de la demande
PL-DATA.Ind : Indication de réception d'un message

Interface PLASMA-MAC

: MA_DATA.Req
: MA_DATA.Conf
: MA_DATA.Ind

Les normes pour les réseaux locaux définissent une autre interface avec le "Network Manager". Il gère globalement le réseau : détection de pannes, reconfiguration, statistiques, etc... Il nous semble naturel de lui ajouter les fonctionnalités supplémentaires découlant de l'existence du protocole PLASMA.

A cette fin, nous avons défini l'entité **BISON** qui oriente les transferts de trames sur les différents supports en fonction de l'importance du trafic et des éventuelles défaillances qu'il observe. En particulier, BISON est informé via le Network Manager de tous les changements d'états des organes de communications, et supervise les opérations de basculement des liaisons sur anneaux.

2.2- Les Fonctionnalités de PLASMA

Notre protocole PLASMA doit, en vue du maintien (voire de l'accroissement) de la qualité du service, utiliser des mécanismes appropriés pour faire face à deux types de fautes ^o _o *v*

- **Fautes transitoires**

Elles interviennent épisodiquement, seulement sur quelques trames, à cause d'évènements passagers ou provoquées par les auto-corrrections des adaptateurs.

La retransmission de la trame erronée sur un autre support constitue une technique efficace couramment employée. Dans notre protocole, l'entité ECHO définit la politique de retransmission. Quand une panne de transmission intervient, ECHO décide soit de retransmettre la trame, soit de retourner une confirmation négative à la couche supérieure.

- **Fautes majeures**

Ces fautes sont principalement dues aux pannes d'organes ou à une congestion prolongées, et elles sont détectées globalement par le Network Manager. Elles provoquent une incohérence sur l'ensemble d'un flux d'informations.

Le mécanisme de basculement, géré par BISON, consiste à basculer l'ensemble des liaisons d'un support de communication sur un autre.

Malheureusement, la retransmission et le basculement amènent deux effets pervers :

- **Duplication**

La perte d'une trame correctement délivrée sur le chemin de retour peut provoquer sa retransmission sur décision de l'entité ECHO, et ainsi générer une duplication.

- **Déséquencement**

D'une part, l'asynchronisme possible entre les support, et d'autre part, la retransmission et la perte possible de trames peuvent provoquer le déséquencement de ces trames.

Ces deux inconvénients peuvent être corrigés par les procédés suivants :

- A l'émission, les trames sont numérotées afin de les identifier de manière univoque;
- A la réception, on compare le numéro de la trame reçue avec le numéro de la trame attendue. Si la trame reçue est en retard ou dupliquée on la détruit; si elle est en avance on peut la stocker pendant un moment; si c'est le même numéro, bien entendu, on la délivre.

Ces procédés sont volontairement simples, bien connus, et nous allons prouver qu'ils sont suffisamment efficaces pour traiter nos problèmes.

3.- Modélisation

La spécification de PLASMA ne saurait être entreprise sans une étude préalable des services offerts par son environnement. Nous proposons donc un modèle complet (figure 3.1) intégrant, en plus des traitements d'émission et de réception de PLASMA, les sous-modèles fonctionnels de la sous-couche MAC, de BISON et d'ECHO.

Une étude complète du service de la sous-couche MAC est proposée dans [Cousin 87], et une description précise de PLASMA est présentée dans [Estrailier 87].

3.1.- Choix du modèle

Pour spécifier notre protocole, nous devons disposer d'un modèle formel permettant la gestion de l'ordre induit par une numérotation. Une telle gestion est nécessaire lors de l'émission, de la gestion de la fenêtre de réception et pour les stratégies de retransmission des trames ou de basculement de liaisons.

Nous avons donc choisi les Réseaux Ordonnés [Couvreur 88] qui constituent une sous-classe des réseaux colorés [Jensen 81]. Le domaine de couleur des places est construit à

PLASMA : un protocole de liaison à support multi-anneaux

partir du produit cartésien de classes d'objets. Les Réseaux Ordonnés admettent des classes d'objets dont le cardinal est paramétrable.

Dans chacune de ces classes, nous définissons une **Fonction Successeur** généralisée, notée " $X\oplus$ ", qui permet d'obtenir le $p^{\text{ème}}$ successeur d'un objet. Les fonctions de couleurs sont déterminées par additions ou compositions linéaires de fonctions successeur, elles constituent alors des polynômes de fonctions successeur.

Un tel choix est justifié non seulement par la concision des modèles résultant, par leurs paramétrisations, mais surtout par la possibilité d'analyse automatique (cf. chapitre 4).

Classes de couleurs

Les modèles sont colorés selon la sémantique suivante :

- . $\langle r \rangle$: Identité d'un anneau $\in [0, Nr [$
- . $\langle s \rangle$: Identité d'un émetteur $\in [0, Ns [$
- . $\langle d \rangle$: Identité d'un destinataire $\in [0, Nd [$
- . $\langle x \rangle$: Numéro d'une trame $\in \mathbb{N}$

(Nr, Ns, Nd déterminent les cardinaux paramétrés des classes)

3.2.-Modèle du service offerts par la sous-couche MAC

3.2.1.- MAC - émission d'une trame

Le traitement d'émission **MAC-émission** $\langle r,s \rangle$ prend en charge l'émission par **MAC-transfert** $\langle r \rangle$ d'une trame provenant de **PLASMA-émission** $\langle s \rangle$. Cette trame, de numéro $\langle x \rangle$, est destinée à **PLASMA-réception** $\langle d \rangle$.

Le traitement prend en compte une demande d'émission (transition **MA_Req**); Il la répercute vers **MAC-transfert** dont il attend l'acquiescement. Cet acquiescement positif (transition **MA_C(+)**) ou négatif (transition **MA_C(-)**) est à son tour répercuté vers **PLASMA-réception**.

3.2.2.- MAC - transfert d'une trame

Le traitement de transfert **MAC-transfert** $\langle r \rangle$ est associé à l'anneau $\langle r \rangle$. Dès qu'il possède le jeton (**TR_Req**), il transmet la trame $\langle s,d,x \rangle$ à **MAC-réception** $\langle r,d \rangle$ (**TR_Ind**), et attend une confirmation (**TR_C+**). Lors du transport de la trame des pertes ou défaillances peuvent survenir avant ou après la remise de la trame au destinataire (transitions **TR-Sa** et **TR-Sb**), ce qui se traduit par une confirmation négative (**TR_C-**).

3.2.3.- MAC - réception d'une trame

Le traitement de réception **MAC-réception** $\langle r,d \rangle$ prend en charge la réception d'une trame $\langle x \rangle$, provenant de **MAC-transfert** $\langle r \rangle$, destinée à **PLASMA-réception** $\langle d \rangle$. Il indique (transition **MA_Ind**) ainsi à **PLASMA-réception** $\langle d \rangle$ qu'une trame lui est parvenue.

3.3.-BISON - Basculements

BISON gère une vision globale du système distribué. En fonction de l'état et de la charge du réseau, **BISON** détermine (transition **BI_Sa**) l'anneau d'émission $\langle r \rangle$ associé à chaque liaison (caractérisée par le couple $\langle s,d \rangle$).

La fonction $F(r)$ précise l'identité de l'anneau impliqué dans l'émission en fonction de la stratégie de basculement.

$F(r)$: Identité de l'anneau de basculement $\in [0, Nr [$

Cette fonction permet de rendre le modèle indépendant de la stratégie de basculement adoptée. Le basculement intervient de manière asynchrone avec le traitement d'émission. La place **BI-PL** modélise alors la table de routage partagée entre **BISON** et **PLASMA-émission**.

3.4.-Modèle de la sous-couche PLASMA

Dans le modèle, nous distinguons les traitements d'émission, de retransmission et de réception.

3.4.1.- PLASMA - émission d'une trame

Un traitement **PLASMA-émission**<s> prend en charge le traitement d'émission d'une trame <d,x>.

Pour simplifier l'expression du modèle et limiter la taille des n-uplets, nous assimilons les informations contenues dans la trame échangée à une valeur entière correspondant à la numérotation des trames par **PLASMA**.

Le modèle décrit plusieurs mécanismes :

- Gestion de la numérotation :

Sur une liaison, les trames sont numérotées de manière croissante. A chaque trame d'une liaison <s,d> on attribue alors la valeur courante <x> du compteur (place **PL-SX**) .

Cette valeur est incrémentée à chaque prise en compte d'une nouvelle trame. Notre modèle utilise alors la **fonction successeur** :

<s, d, x> devient **<s, d, $x \oplus 1$ >** par la transition **PL-S**

- Choix d'un anneau :

Lorsqu'un numéro a été affecté à la trame, le traitement oriente l'émission en fonction du routage défini par BISON vers l'anneau <r>. Les trames sont alors caractérisées par <r,s,d,x>

- Emission:

Une fois la trame confiée à **MAC-émission** (transition **MA-Req**), **PLASMA-émission** attend une confirmation. Si elle est positive (transition **MA-C(+)**), il la répercute vers l'entité LLC (transition **PL-C(+)**). Si la confirmation est négative, il attend (place **PL-S6**) la décision de ECHO.

3.4.2- PLASMA - Services de retransmission offerts par ECHO

PLASMA-ECHO est prévenu de tout incident détecté au niveau de la sous-couche MAC (transition **MA_C(-)**). En fonction de sa politique de retransmission, il indique sa décision à **PLASMA-émission** par l'intermédiaire des informations partagées :

- La place **RP-SP1** indique l'abandon du traitement de retransmission. Une confirmation négative sera alors répercutée vers l'entité LLC.
- La place **RP-SP2** autorise la retransmission et identifie l'anneau impliqué.

La fonction **G(r)** désigne l'identité de l'anneau de retransmission.

G(r) : Identité de l'anneau de retransmission $\in [0, Nr [$

Cette fonction permet de rendre le modèle indépendant de la politique de retransmission adoptée. De plus le modèle ne précise volontairement pas la politique de retransmission (choix non-déterministe entre les transitions **RP_SP1** et **RP_SP2**), ceci afin de valider l'ensemble des politiques possibles. Le bon choix n'intervenant que pour obtenir de bonnes performances.

3.4.3.- PLASMA - réception d'une trame

PLASMA-réception consiste essentiellement à contrôler la numérotation des trames en gérant, pour chaque liaison <s,d>, un intervalle de réception selon le principe de la fenêtre glissante de largeur fixe (N). Cette fenêtre permet de contrôler les **duplications** et le **déséquencement** des trames.

PLASMA : un protocole de liaison à support multi-anneaux

Le modèle décrivant ce comportement est découpé en 2 blocs fonctionnels :

. Gestion de la fenêtre de réception :

Pour chaque liaison, on définit un intervalle de N numéros consécutifs. Chaque numéro correspond à un numéro de trame devant être reçue. La borne inférieure (place **PL-RX**) est déterminée à l'aide d'un compteur indiquant le numéro de la prochaine trame à recevoir sur la liaison. On qualifiera cette trame de "courante".

Dans le modèle, la place **PL-RI** référence l'ensemble des numéros n'appartenant pas à l'intervalle (illégaux).

Deux sous-ensembles permettent la gestion de la fenêtre de réception :

- . L'ensemble des trames attendues (place **PL-RE**).
- . L'ensemble des trames reçues (**PL-RR**) mais non encore délivrées à la couche LLC.

L'intervalle de réception est modifié par incrémentation de la borne inférieure (et par conséquent de la borne supérieure) dans deux cas :

- . Lorsque la trame courante est délivrée à la couche LLC (transition **PL-Ind**).
- . Lors du déclenchement d'une temporisation associée à la réception de la trame courante (Transition **PL-Rd**).

. Analyse de la numérotation des trames reçue :

Le numéro de la trame reçue (transition **MA-Ind**) est analysé. Trois cas peuvent se produire :

- . La trame reçue est attendue (transition **PL-Ra**)
- . La trame a déjà été reçue (transition **PL-Rb**). La trame est donc rejetée. Cette transition permet la gestion des duplications.
- . Le numéro de la trame reçue n'appartient pas à la fenêtre de réception (transition **PL-Rc**). La trame est donc rejetée. Cette transition permet la gestion de la séquentialité.

Notre modèle utilise la fonction successeur :

par les transitions **PL-Ind** et **PL-Rd**

$\langle s, d, x \rangle$	devient	$\langle s, d, x \oplus 1 \rangle$
$\langle s, d, x \oplus N \rangle$	devient	$\langle s, d, x \rangle$
$\langle s, d, x \rangle$	devient	$\langle s, d, x \oplus N \rangle$

4- Analyse du Modèle

Pour analyser le modèle, nous utilisons une technique automatique d'obtention des invariants appliquée aux **Réseaux de Petri Ordonnés**. Le principe consiste à étendre les systèmes d'équations linéaires en nombres entiers des réseaux ordinaires à des systèmes d'équations polynômiales. Les fondements de la théorie sont présentés dans [Couvreur 88]. Nous employons le logiciel de calcul formel [Macaulay 86].

L'analyse est effectuée en trois étapes :

- . L'**homogénéisation** des domaines de couleurs pour les places et les transitions. Il s'agit de construire le produit des classes d'objets.
- . L'**expression** de fonctions paramétrisées standards sous une forme polynômiale afin d'utiliser l'algèbre polynômiale pour la résolution.
- . La **résolution** du système, nécessitant la transformation de la matrice incidente en une matrice polynômiale. Les invariants du modèle sont obtenus par la résolution d'équations linéaires dérivées de la matrice de l'ensemble des polynômes quotientés par leur idéal.

L'apport spectaculaire de cette théorie réside dans la production d'invariants paramétrés. Ainsi, le modèle est validé pour :

- . N'importe quel nombre N_s de processus d'émission $\langle s \rangle$,
- . N'importe quel nombre N_d de processus de réception $\langle d \rangle$,
- . N'importe quelle largeur N de la fenêtre de réception ,
- . N'importe quel nombre N_r d'anneaux $\langle r \rangle$.

PLASMA : un protocole de liaison à support multi-anneaux

La figure 4 répertorie l'ensemble des 13 invariants obtenus par l'analyse automatique du modèle. Ce chapitre propose leur interprétation.

Définition des fonctions

Toute validation doit reposer sur une définition précise du fonctionnement du modèle. Ainsi, il a été nécessaire de déterminer les fonctions utilisées :

- . $F(r) = r \oplus 1$
- . $G(r) = r \oplus 1$

4.1.-Sous-couche MAC

L'analyse des différents invariants liés à la sous-couche MAC permettent de définir les propriétés du service qu'elle offre. Nous allons présenter en premier lieu les différentes propriétés locales, pour ensuite les synthétiser.

4.1.1.- MAC - émission

A5: Absence d'interblocage entre les traitements d'émission MAC et PLASMA.

Si le traitement **MAC-émission** $\langle r,s \rangle$ attend (place MA-S1) une requête de **PLASMA-émission** $\langle r,s \rangle$, alors ce dernier n'est pas en attente (place PL-S4) d'une confirmation en provenance de **MAC-émission** $\langle r,s \rangle$ et ceci, quelle que soit la liaison $\langle s,d \rangle$ impliquée et quelle que soit le numéro $\langle x \rangle$.

A6: Le traitement d'émission de MAC est activé par le traitement d'émission de PLASMA.

Si le traitement **PLASMA-émission** $\langle r,s \rangle$ attend (place PL-S4) une confirmation en provenance de **MAC-émission** $\langle r,s \rangle$, alors ce dernier est en cours.

La combinaison des deux invariants indique que le **MAC-émission** $\langle r,s \rangle$ transite exclusivement par les états MA-S1, MA-S2, MA-S3 ou MA-S4. On en conclue alors les propriétés suivantes :

Propriété Me1: Indépendamment de la station et de l'anneau, toute requête de PLASMA est traitée par MAC.

Propriété Me2: Une requête de transfert (**MA_Req**) est toujours suivie d'une primitive de confirmation négative (**MA_C(-)**) ou positive (**MA_C(+)**).

Propriété Me3: Pour une station donnée et sur un anneau donné, deux requêtes ne peuvent être traitées simultanément par le traitement d'émission associé à la couche MAC.

4.1.2.- MAC - transfert

Les invariants produits sont comparables aux précédents

A7 : Absence d'interblocage entre le traitement d'émission MAC et le transfert sur l'anneau

Si le traitement **MAC-transfert** $\langle r \rangle$ attend (place TR-S1) une requête de **MAC-émission** $\langle r,s \rangle$, alors ce dernier n'est pas en attente (place MA-S3) d'une confirmation en provenance de **MAC-transfert** $\langle r \rangle$. Autrement dit, soit l'anneau est libre (place TR-S1) soit il transporte une trame (place MA-S3).

A8: Le traitement de transfert de MAC est activé par le traitement d'émission de MAC.

PLASMA : un protocole de liaison à support multi-anneaux

Si le traitement **MAC-émission**<r,s> attend (place MA-S3) une confirmation en provenance de **MAC-transfert**<r>, alors ce dernier est en cours.

La combinaison des deux invariants indique que le **MAC-transfert**<r> transite exclusivement par les états TR-S1, TR-S2, TR-S3 ou TR-S4; on en conclue les propriétés:

Propriété Mt1 : Indépendamment de l'anneau, toute requête d'émission sur l'anneau est prise en compte.

Propriété Mt2 : Une requête de transfert (**TR_Req**) est toujours suivie d'une primitive de confirmation négative (**TR_C(-)**) ou positive (**TR_C(+)**)

Propriété Mt3 : Pour un anneau donné, deux transferts ne peuvent être traités simultanément. Cette propriété vérifie fondamentalement l'exclusion réalisée par la circulation du jeton.

4.1.3.- MAC - réception

A9: Différents états possibles du traitement de réception

Le traitement de réception de MAC est soit oisif (place MA-R1), soit en train de traiter une trame (place MA-R2)

Propriété Mr1 : Pour un anneau donné, sur une station donnée, deux réceptions ne peuvent être traitées simultanément.

4.1.4. Synthèse des propriétés de la sous-couche MAC

Les propriétés précédentes permettent d'exprimer les propriétés fondamentales :

Propriété Pm1: Une requête de transfert (**MA_Req**) est toujours traitée par la couche MAC.

Propriété Pm2 Sur une liaison de donnée, les trames ne sont pas déséquilibrées par la couche MAC.

4.2.- BISON

A4: Gestion non ambiguë du basculement

Pour chaque lien logique <s, d> la place **BI-PL** indique de manière unique l'anneau <x> devant être utilisé pour l'émission.

Propriété B1 : La stratégie de **BISON** détermine sans ambiguïté l'anneau d'émission.

4.3.- Sous-couche PLASMA

L'analyse permet essentiellement de vérifier la gestion de la numérotation des trames.

4.3.1.- PLASMA - émission

A1: Différents états possibles du traitement d'émission .

Sur une station, le **PLASMA-émission**<s> peut transiter dans les états PL-S1, PL-S2, PL-S3, PL-S4, PL-S5, PL-S6 ou PL-S7

A2: Gestion de la numérotation des trames sans redondance

Pour chaque lien logique <s, d> la place **PL-SX** indique de manière unique le numéro <x> devant être utilisé pour l'émission.

Propriété Pe1: Une requête de transfert (**PL_Req**) est toujours suivie d'une primitive de confirmation négative (**PL_C(-)**) ou positive (**PL_C(+)**).

Propriété Pe2: La gestion de la numérotation détermine sans ambiguïté le numéro d'émission de la trame.

PLASMA : un protocole de liaison à support multi-anneaux

Propriété Pe3: Sur une liaison, deux trames distinctes sont identifiées par des numéros différents.

4.3.2.- PLASMA - retransmission

A3 : Absence de blocage provoqué par le traitement de retransmission

Après un échec de transmission sur l'anneau, pour une liaison $\langle s,d \rangle$, le PLASMA-ECHO $\langle r,s,d \rangle$ détermine soit une politique de retransmission, soit une politique d'abandon.

4.3.3.- PLASMA - réception

A10 : Différents états possibles du traitement de réception

Le traitement de réception de PLASMA est soit oisif (place PL-R1), soit en train de traiter une trame (place PL-R2)

A11 : Unicité des numéros utilisés pour la gestion de la fenêtre de réception

Pour chaque lien $\langle s,d \rangle$, le numéro $\langle x \rangle$ associé peut être soit illégal (place PL-RI), soit attendu (place PL-RE), soit déjà reçu (place PL-RR).

A12 : Gestion unique d'une borne inférieure par lien

Pour chaque lien $\langle s,d \rangle$, la place PL-RX donne la valeur courante $\langle x \rangle$ de la borne inférieure de la fenêtre de réception.

A13 : Détermination des numéros illégaux

Pour chaque lien $\langle s,d \rangle$, tout numéro non compris entre la borne inférieure courante $\langle x \rangle$ et le numéro $\langle x \oplus N \rangle$ est référencé dans la place PL-RI.

Propriété Pr1 : Toute trame reçue est soit délivrée à la couche LLC, soit rejetée en raison de son déséquence trop important.

Propriété Pr2 : Le processus de réception gère le déséquence : il transmet toujours des trames de numéros croissants à la couche LLC.

Propriété Pr3 : Le processus de réception gère la duplication : il ne transmet pas deux trames de même numéro à la couche LLC.

4.3.4.- Synthèse de l'analyse de PLASMA

Le comportement global de PLASMA peut être évalué à l'aide des propriétés précédentes. D'un point de vue qualitatif, les propriétés essentielles sont :

P1: Transparence :

Les propriétés Pm1, Pe1 et Pr1 assurent que PLASMA transmet à la couche LLC les trames ou confirmations prévues par la spécification du service de la couche MAC.

P2: Déséquencement:

Le mécanisme de gestion de l'intervalle garantit le séquencement à la réception (propriétés Pm2, Pe2, Pe3 et Pr2).

P3: Duplication:

PLASMA identifie de manière unique les trames et corrige les duplications provoquées par les retransmissions (propriétés Pe2, Pe3 et Pr3).

5.- Conclusion

Le modèle proposé spécifie un protocole utilisant la redondance des supports de communication. Sa validation montre qu'il préserve les propriétés du niveau MAC sous-jacent (séquencement, unicité). En outre les mécanismes de basculement et de retransmission, tout en augmentant la fiabilité du système, préservent les primitives d'interface de la sous-couche LLC (transparence).

PLASMA : un protocole de liaison à support multi-anneaux

Une étude quantitative, basée sur les Réseaux de Petri Stochastiques, est en cours. Les résultats déjà obtenus permettent de confirmer les apports de ce protocole [Cousin 88b].

La gestion des supports multiples s'avère une technique généralisable dans le nombre et la nature des média employés. Elle peut s'appliquer aux applications pour lesquelles un haut degré de fiabilité des transferts d'information est nécessaire. Sa mise en oeuvre s'avère parfaitement maîtrisable dans la mesure où elle repose sur des mécanismes simples et connus (basculement et retransmission).

Remerciements

Nous remercions S.Le Goïc et F.Le Corre, de Alcatel CIT Commutation, pour leur collaboration technique, utile pour le démarrage de nos recherches.

Références

- [Bernard 87] J.M.Bernard, J.L.Mounier, "Atelier de modélisation interactif (AMI)", publication de recherche MASI n°226, 1988.
- [Cousin 87] B.Cousin, J.M.Couvreur, "Le Service du niveau MAC", contrat industriel Alcatel CIT, 1987.
- [Cousin 88] B.Cousin, P.Estraillier, "PLASMA : a multi-medium protocol for the Link layer", 12^{ème} world congress on scientific computation, Villeneuve d'Ascq, 1988.
- [Cousin 88b] B.Cousin, J.M Couvreur, C. Dutheillet, P.Estraillier, "PLASMA, a protocol using token ring redundancy", Franco-American Workshop on new research directions in integrated networks", Sophia-Antipolis, june 1988.
- [Couvreur 88] J.M.Couvreur, "The Ordered Regular Petri Nets", 9th Workshop on application and theory of the Petri Nets, Venice 1988.
- [David 87] ↗ J.P.David, M.Legendre, S.Natkin, "Un protocole de diffusion fiable pour les réseaux locaux industriels", TSI vol6 n°2, p187-190, 1987.
- [Estraillier 87] P.Estraillier, "le protocole PLASMA", contrat industriel Alcatel CIT, 1987.
- [ISO 7498] ↗ "Information processing systems. Open Systems Interconnection , Basic reference model", ISO/DIS 7498, 1984.
- [ISO 8802/2] "Information processing systems - Local area networks - Part 2 : Logical Link Control" , ANSI/IEEE Std 802.2 ou ISO/DIS 8802/2, 1985.
- [ISO 8802/5] "Token ring access methode and Physical layer Specification", ANSI/IEEE Std 805.5-1985 ou ISO/DP 8802/5, 1985.
- [Jensen 81] K.Jensen, "Coloured Petri Nets and the Invariant Method", Theoretical Computer Science, vol 14, n°3, June 1981.
- [Macaulay 86] Macaulay, "A computer algebra system for algebraic geometry", version 1.219, Columbia University, April 1986.

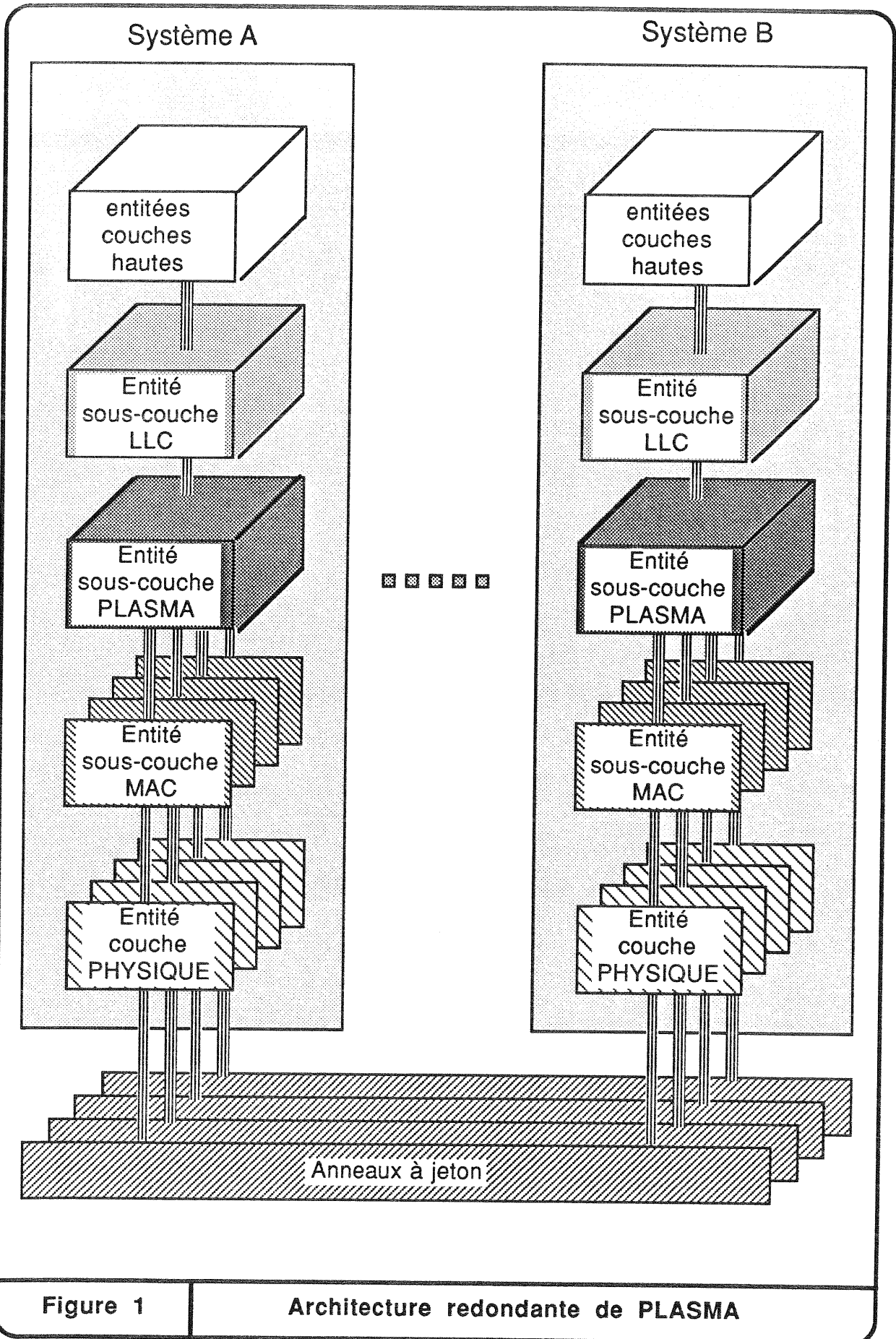
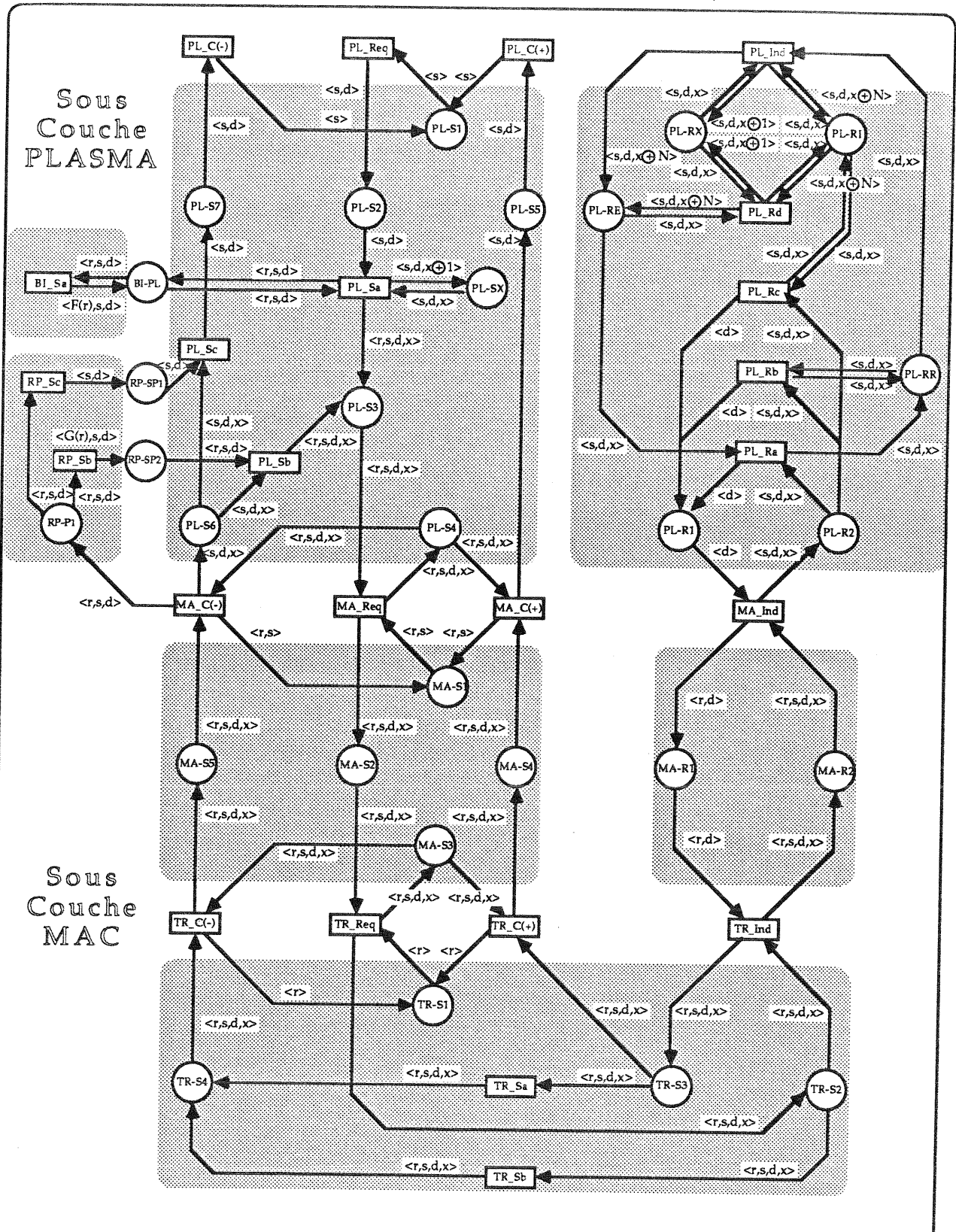


Figure 1

Architecture redondante de PLASMA

Emission

Réception



Sous Couche PLASMA

Sous Couche MAC

Figure 3.1

Modèle des couches PLASMA et MAC

Bison

Transition

BI-Sa : Basculement d'anneau

PLASMA - ECHO

Place

RP-P1: indication de défaillance

Transition

RP-Sb : choix de retransmettre
RP-Sc : choix d'abandon

interface LLC - PLASMA

PL_Req : PL_DATA_Request
PL_C(+) : Confirmation Positive
PL_C(-) : Confirmation Negative
PL_Ind: PL_DATA_Indication

interface BISON - PLASMA

BI-PL : choix de l'anneau d'émission

interface Interne PLASMA

RP-SP1 : indication d'abandon
RP-SP2 : identité de l'anneau de retransmission

interface PLASMA - MAC

MA_Req : MA_DATA_Request
MA_C(+) : Confirmation Positive
MA_C(-) : Confirmation Negative
MA_Ind: MA_DATA_Indication

interface Interne MAC

TR_Req : TR_DATA_Request
TR_C(+) : Confirmation Positive
TR_C(-) : Confirmation Negative
TR_Ind: TR_DATA_Indication

PLASMA-émission

Places

PL-S1 : attente d'une requête
PL-S2 : réception d'une requête
PL-S3 : préparation d'émission
PL-S4 : attente de confirmation
PL-S5 : C(+) reçu
PL-S6 : C(-) reçu
PL-S7 : C(-) répercuté
PL-SX : numérotation des trames

Transitions

PL-Sa : numérotation et routage
PL-Sb : préparation retransmission
PL-Sc : prep. répercution C(-)

PLASMA-réception

Places

PL-R1 : attente de trame
PL-R2 : trame reçue
PL-RE : ens. de trames attendues
PL-RR : ens. de trames reçues
PL-RX : borne inf. de réception
PL-RI : numéros illégaux

Transitions

PL-Ra : réception trame attendue
PL-Rb : traitement de duplication
PL-Rc : traitement hors intervalle
PL-Rd : traitement time-out

MAC-émission

Places

MA-S1 : attente de requête
MA-S2 : requête reçue
MA-S3 : attente de confirmation
MA-S4 : C(+) reçu
MA-S5 : C(-) reçu

MAC-réception

Places

MA-R1 : attente d'indication
MA-R2 : indication reçue

MAC-transfert

Places

TR-S1 : attente de requête
TR-S2 : requête reçue
TR-S3 : Indication transmise
TR-S4 : panne durant le transfert

Transitions

TR-Sa : perte de trame ou panne avant la délivrance
TR-Sb : perte de trame ou panne après la délivrance

Figure 3.2

Légende du modèle

Sous-couche MAC			BISON	Sous-couche PLASMA	
Emission	Transfert	Réception	Basculement	Emission	Réception
$MA-S1 = \sum dr, ds \langle r, s \rangle$	$TR-S1 = \sum dr \langle r \rangle$	$MA-R1 = \sum dr, dd \langle r, d \rangle$	$BI-PL = \sum ds, dd \langle r, s, d \rangle$	$PL-Sx = \sum ds, dd \langle s, d, 0 \rangle$ $PL-S1 = \sum ds \langle s \rangle$	$PL-Rx = \sum ds, dd \langle s, d, 0 \rangle$ $PL-R1 = \sum dd \langle d \rangle$ $PL-R1 = \sum ds, dd \langle d1x \langle s, d, x \rangle$ $PL-RE = \sum ds, dd \langle d2x \langle s, d, x \rangle$
$\begin{array}{c} dr \\ ds \\ dd \end{array} \left \begin{array}{c} \text{est le domaine de} \\ \langle r \rangle \\ \langle s \rangle \\ \langle d \rangle \end{array} \right. \quad \begin{array}{c} d1x = [N, \infty] \\ d2x = [0, N[\end{array}$					
Figure 3.3		Marquage initial			

Sous-couche MAC			BISON	Sous-couche PLASMA	
Emission	Transfert	Reception	Basculement	Emission	Réception
A5 + A6	A7 + A8	A9	A4	A1 + A2 + A3	A10 + A11 + A12 + A13
<p>A1: $PL_S1(s) + \sum d PL_S2(s, d) + \sum r, d, x PL_S3(r, s, d, x) + \sum r, d, x PL_S4(r, s, d, x) + \sum d PL_S5(s, d) + \sum d, x PL_S6(s, d, x) + \sum d PL_S7(s, d) = 1$</p> <p>A2: $\sum x PL_SX(s, d, x) = 1$</p> <p>A3: $\sum x PL_S6(s, d, x) = \sum r RP_P1(r, s, d) + \sum r RP_SP1(r, s, d) + RP_SP2(s, d)$</p> <p>A4: $\sum r BI_PL(r, s, d) = 1$</p> <p>A5: $MA_S1(r, s) + \sum d, x PL_S4(r, s, d, x) = 1$</p> <p>A6: $PL_S4(r, s, d, x) = MA_S2(r, s, d, x) + MA_S3(r, s, d, x) + MA_S4(r, s, d, x) + MA_S5(r, s, d, x)$</p> <p>A7: $TR_S1(r) + \sum s, d, x MA_S3(r, s, d, x) = 1$</p> <p>A8: $MA_S3(r, s, d, x) = TR_S2(r, s, d, x) + TR_S3(r, s, d, x) + TR_S4(r, s, d, x)$</p> <p>A9: $MA_R1(r, d) + \sum d, x MA_R2(r, s, d, x) = 1$</p> <p>A10: $\sum s, x PL_R2(s, d, x) + PL_R1(d) = 1$</p> <p>A11: $PL_R1(s, d, x) + PL_RE(s, d, x) + PL_RR(s, d, x) = 1$</p> <p>A12: $\sum x PL_RX(s, d, x) = 1$</p> <p>A13: $PL_R1(s, d, x) + \sum 0 \leq k < N PL_RX(s, d, x - k) = 1$</p>					
Figure 4		Invariants			