

Union internationale des télécommunications

# UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION  
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS  
DE L'UIT

# J.211

(11/2006)

SÉRIE J: RÉSEAUX CÂBLÉS ET TRANSMISSION DES  
SIGNAUX RADIOPHONIQUES, TÉLÉVISUELS ET  
AUTRES SIGNAUX MULTIMÉDIAS

Services interactifs pour la distribution de télévision  
numérique

---

**Interface de synchronisation pour systèmes de  
terminaison de câblo-modem**

Recommandation UIT-T J.211



## **Recommandation UIT-T J.211**

### **Interface de synchronisation pour systèmes de terminaison de câblo-modem**

#### **Résumé**

L'interface de synchronisation pour systèmes de terminaison de câblo-modem (DTI), définie dans la Recommandation UIT-T J.211, prend en charge le transport précis et robuste, jusqu'au client DTI contenu dans le réseau câblé du système (M-CMTS) (terminaison de câblo-modem modulaire), du signal d'horloge de référence à 10,24 MHz du serveur DTI, des 32 bits du compteur temporel de la terminaison de câblo-modem, ainsi que de l'heure légale. Le protocole d'interface DTI est structuré de façon à minimiser la complexité et le coût des horloges de client DTI ainsi que le coût unitaire d'un port de la fonction de partage du serveur distant tout en prenant en charge toutes les exigences de synchronisation en S-CDMA et en TDMA.

#### **Source**

La Recommandation UIT-T J.211 a été approuvée le 29 novembre 2006 par la Commission d'études 9 (2005-2008) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

## AVANT-PROPOS

L'UIT (Union internationale des télécommunications) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications. L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'UIT. Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'étude à traiter par les Commissions d'études de l'UIT-T, lesquelles élaborent en retour des Recommandations sur ces thèmes.

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

Dans certains secteurs des technologies de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

## NOTE

Dans la présente Recommandation, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

Le respect de cette Recommandation se fait à titre volontaire. Cependant, il se peut que la Recommandation contienne certaines dispositions obligatoires (pour assurer, par exemple, l'interopérabilité et l'applicabilité) et considère que la Recommandation est respectée lorsque toutes ces dispositions sont observées. Le futur d'obligation et les autres moyens d'expression de l'obligation comme le verbe "devoir" ainsi que leurs formes négatives servent à énoncer des prescriptions. L'utilisation de ces formes ne signifie pas qu'il est obligatoire de respecter la Recommandation.

## DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT n'avait pas été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux développeurs de consulter la base de données des brevets du TSB sous <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2008

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

## TABLE DES MATIÈRES

|                                                                      | <b>Page</b>                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                    | Domaine d'application ..... 1                                                      |
| 1.1                                                                  | Exigences relatives au système ..... 1                                             |
| 1.2                                                                  | Considérations relatives aux services d'accès en TDM..... 2                        |
| 1.3                                                                  | Exigences relatives à l'implémentation modulaire ..... 2                           |
| 1.4                                                                  | Architecture ..... 2                                                               |
| 1.5                                                                  | Synchronisation requise pour le déploiement des services d'accès<br>en TDM ..... 4 |
| 2                                                                    | Références..... 4                                                                  |
| 2.1                                                                  | Acquisition de référence..... 5                                                    |
| 3                                                                    | Termes et définitions ..... 5                                                      |
| 4                                                                    | Abréviations et acronymes ..... 6                                                  |
| 5                                                                    | Conventions ..... 7                                                                |
| 6                                                                    | Exigences relatives à la couche Physique..... 8                                    |
| 6.1                                                                  | Introduction ..... 8                                                               |
| 6.2                                                                  | Description du connecteur de couche Physique ..... 9                               |
| 6.3                                                                  | Exigences relatives au câble ..... 9                                               |
| 6.4                                                                  | Description des caractéristiques électriques ..... 9                               |
| 7                                                                    | Protocole de synchronisation DOCSIS..... 10                                        |
| 7.1                                                                  | Entités de synchronisation à l'interface DTI..... 10                               |
| 7.2                                                                  | Structure de synchronisation à l'interface DTI ..... 11                            |
| 7.3                                                                  | Traçabilité d'un compteur temporel DOCSIS ..... 13                                 |
| 7.4                                                                  | Exigences relatives au verrouillage de trames DTI..... 15                          |
| 7.5                                                                  | Interaction entre protocoles serveur et client DTI..... 24                         |
| 8                                                                    | Fonctionnement du client et du serveur DTI ..... 26                                |
| 8.1                                                                  | Modes du serveur DTI..... 26                                                       |
| 8.2                                                                  | Fonctionnement du client DTI..... 33                                               |
| 8.3                                                                  | Stratégies de repli lors de la distribution des signaux d'interface DTI..... 41    |
| Annexe A – Filtre de qualification du dérapage télémétrique ..... 43 |                                                                                    |
| A.1                                                                  | Gigue de synchronisation des éléments de code en exploitation synchrone .. 43      |
| Appendice I – Description fonctionnelle du serveur DTI..... 46       |                                                                                    |
| I.1                                                                  | Traitement de signal dans un serveur DTI ..... 47                                  |
| Appendice II – Description fonctionnelle du client DTI ..... 48      |                                                                                    |
| II.1                                                                 | Schéma fonctionnel du client DTI..... 48                                           |
| II.2                                                                 | Couche PHY de client DTI..... 48                                                   |
| II.3                                                                 | Processeur de trame de client DTI..... 49                                          |
| II.4                                                                 | Processeur d'horloge de client DTI..... 50                                         |

|                                                                              | <b>Page</b> |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Appendice III – Budget de gigue à l'interface DTI.....                       | 54          |
| III.1    Description du modèle.....                                          | 54          |
| III.2    Analyse .....                                                       | 55          |
| Appendice IV – Synchronisation de la fréquence de modulation.....            | 57          |
| Appendice V – Considérations relatives à l'horloge DTI à grande vitesse..... | 59          |

# **Recommandation UIT-T J.211**

## **Interface de synchronisation pour systèmes de terminaison de câblo-modem**

### **1 Domaine d'application**

Les exigences relatives au rythme et à la synchronisation du système DOCSIS proviennent des domaines suivants:

- exigences existantes concernant la spécification et la testabilité DOCSIS;
- exigences relatives au système PHY distant;
- exigences relatives à l'implémentation;
- services comme T1 ou E1 et services radioélectriques.

Ces exigences imposent des définitions et des contraintes quant à l'utilisation du signal d'horloge de référence DOCSIS et du compteur temporel DOCSIS, acheminés dans le message SYNC. La spécification DOCSIS envisageait initialement le cœur de système M-CMTS, les dispositifs EQAM et les fonctions de réception des flux montants sous la forme d'un seul bloc alimenté par une référence temporelle commune. Le compteur de pointeurs temporels résidait dans la fonction de cœur de système M-CMTS.

L'architecture physique d'un système M-CMTS™ distant peut se réduire à trois composants: le cœur de système M-CMTS, le récepteur de flux montants et le dispositif EQAM, situés dans un châssis différent et éventuellement à différents emplacements physiques. En tant que système, ces trois composants sont conformes à la spécification DOCSIS et à tout équipement CMTS existant.

Le protocole de synchronisation DOCSIS (DTI) défini dans la présente Recommandation prend en charge le transport précis et robuste -jusqu'au client DTI contenu dans le réseau câblé du système M-CMTS DOCSIS du signal d'horloge de référence issu à 10,24 MHz du serveur DTI, des 32 bits du compteur temporel DOCSIS et de l'heure légale. Le protocole d'interface DTI est structuré de façon à minimiser la complexité et le prix des horloges de client DTI ainsi que le coût unitaire d'un port de la fonction de partage du serveur distant tout en prenant en charge toutes les exigences de synchronisation en S-CDMA et en TDMA.

Afin de prendre en charge les différences régionales entre fréquences d'horloge de référence, deux options de client DTI sont définies, l'une produisant une sortie d'horloge de référence à 10,24 MHz et l'autre produisant une sortie d'horloge de référence à 9,216 MHz. Un unique serveur DTI de fréquence d'horloge de référence à 10,24 MHz prend en charge les clients DTI de ces deux types de trafic.

#### **1.1 Exigences relatives au système**

Les exigences relatives au système d'interface DTI se rapportent aux exigences de rythme DOCSIS décrites dans la spécification DOCSIS. Ces exigences sont présentées indépendamment de l'architecture du système CMTS.

Les paragraphes applicables de la spécification DOCSIS [UIT-T J.122] sont les suivants:

- 6.2.11.2 Numérotation des mini-logements
- 6.2.21.8.2 Gigue de synchronisation des éléments de code en exploitation synchrone
- 6.3.7 Gigue de compteur temporel du système CMTS
- 6.3.8 Production des signaux d'horloge d'un système CMTS
- 6.3.9 Gigue de fréquence de modulation en exploitation descendante synchrone dans un CMTS

- 6.3.10 Excursion de fréquence de modulation en exploitation descendante synchrone dans un CMTS
- 9.3 Rythme et synchronisation

## **1.2 Considérations relatives aux services d'accès en TDM**

Afin de maintenir la compatibilité avec la hiérarchie de synchronisation du service TDM, l'horloge du serveur DTI fonctionne avec les spécifications détaillées dans le § 8.1, qui intègrent aussi bien les exigences de rythme DOCSIS relatives au système que l'horloge existante de synchronisation du réseau hérité, conformément aux références [UIT-T G.812] et [T1.101]. Cela permet de garantir que le câblo-modem prenant en charge les services d'accès en TDM peut calculer son pointage temporel et satisfaire les exigences contenues dans la référence [UIT-T G.823] ou [UIT-T G.824] en terme de gigue et dérapage, relatives aux sources de rythme des voies de transport acheminant aussi bien des signaux de trafic que des signaux de synchronisation.

La prise en charge des services d'accès en TDM nécessitera que l'horloge de référence et la rapidité de modulation en voie descendante soient calées et que les horloges des flux montants et descendants soient cohérentes.

## **1.3 Exigences relatives à l'implémentation modulaire**

L'élément de cœur de système M-CMTS:

- utilise l'horloge de référence du serveur DTI afin de créer un compteur temporel;
- utilise ce compteur temporel pour la production de messages MAP.

L'élément EQAM:

- utilise l'horloge de référence du serveur DTI pour la production de la fréquence de modulation;
- utilise le compteur temporel pour insérer et/ou corriger des messages SYNC.

L'élément récepteur de voie montante:

- utilise le compteur temporel et/ou la trame S-CDMA, ainsi que le message MAP, afin de déterminer l'instant de recherche du début d'une rafale de réception;
- utilise une horloge calée sur l'horloge de référence afin de recevoir des symboles en mode S-CDMA.

## **1.4 Architecture**

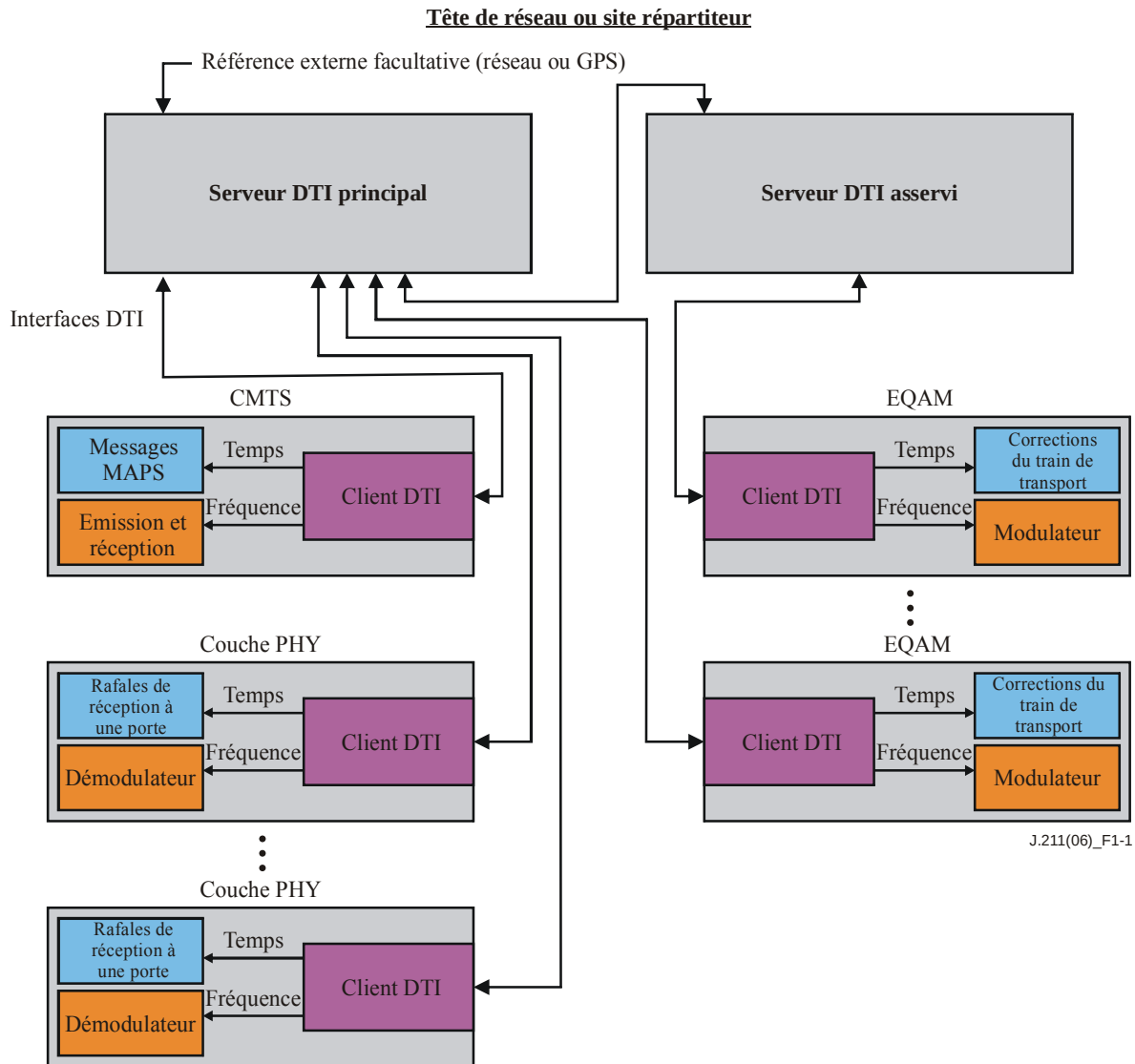
La Figure 1-1 montre des exemples de distribution de fréquence et de rythme, aussi bien pour la tête de réseau que pour le site répartiteur. Le serveur DTI établit la référence pour le réseau de distribution du rythme et synchronise tous les clients DTI connectés en mode point à point entre le serveur distant et chaque client. Un unique protocole lancé par le serveur DTI permet au client d'exécuter la synchronisation dans les domaines fréquentiel et temporel. Comme représenté, le récepteur de flux montants, les dispositifs EQAM et le cœur de système M-CMTS peuvent avoir différents usages du synchronisme en fréquence et en temps mais utilisent une même fonction de client.

Le protocole d'interface DTI et les interactions entre serveurs et clients sont décrits en détail dans les § 7 et 8. Les caractéristiques essentielles sont les suivantes:

- le serveur DTI lance le protocole que le client DTI utilise afin d'établir le synchronisme en temps et en fréquence;



- au moyen d'un processus d'alternat, le client répond toujours immédiatement au serveur DTI quand il reçoit une transmission en provenance du serveur DTI, lequel utilise cette réponse afin d'auto-compenser tous retards afin que le client se synchronise précisément sur le serveur;
- le dialogue serveur-client-serveur se répète continuellement, garantissant qu'un synchronisme serré puisse être conservé.



NOTE – Le cœur de système CMTS, les couches PHY et les dispositifs EQAM peuvent être configurés en redondance. Les serveurs DTI peuvent être configurés en redondance et un serveur asservi peut être connecté à un serveur principal jusqu'à une profondeur de 1 niveau par rapport au serveur principal. Toutes les liaisons DTI entre un serveur DTI principal et des serveurs DTI asservis seront synchrones comme si elles provenaient du même serveur distant.

**Figure 1-1 – Architecture de la synchronisation**

Le protocole et les composants d'interface DTI prennent en charge un transport précis et robuste – jusqu'au client situé à l'intérieur d'un nœud ou bâtiment – de l'horloge de référence à 10,24 MHz du serveur et des 32 bits du compteur temporel DOCSIS. Le protocole est structuré de façon à minimiser la complexité et le coût des horloges de client, ainsi que le coût unitaire d'un port de la fonction de partage du serveur distant tout en prenant en charge toutes les exigences de rythme du modèle DOCSIS relatives au mode S-CDMA, au mode TDMA et aux futurs services d'accès en mode TDM dans un système modulaire.

La haute précision (<5 ns) et la haute stabilité (budget de gigue de rythme <1 ns) sont obtenues par l'utilisation d'un simple protocole de synchronisation à alternances immédiates dans la couche 2 sur une unique connexion par paire torsadée au moyen de composants passifs communs dans les deux sens de la couche PHY. Cette structure assure la compensation des retards de telle sorte que tous les traitements des retards dans le câble peuvent être effectués dans le serveur. Le rôle du client dans la compensation des retards consiste à offrir une réponse à retard fixe à la trame du serveur distant et à utiliser l'avance temporelle du câble fournie par le serveur distant afin d'avancer l'horloge locale à 10 kHz de la trame DTI et ainsi de compenser le retard du câble.

Afin d'assurer un fonctionnement fiable du transport et de l'horloge client, celle-ci est tenue de signaler le déphasage actuel de son signal local (base de temps des trames) par rapport à la base de temps des trames du serveur distant à retard corrigé. Cette mesure est signalée au serveur distant à la fréquence de trame de 10 kHz. Le rôle du serveur consiste à traiter ces données de mesure et à vérifier le fonctionnement de l'horloge client. Ce protocole prend en charge la détection et l'affaiblissement en temps réel des dérangements de l'horloge client.

Le client DTI peut être réalisé avec un unique composant numérique, une simple couche PHY et un oscillateur local à faible coût, car le maintien et le filtrage sont pris en charge dans le serveur partagé. Une définition commune de l'horloge DTI à grande vitesse est nécessaire afin de garantir la compatibilité entre tous les composants DOCSIS du client DTI.

## 1.5 Synchronisation requise pour le déploiement des services d'accès en TDM

Le déploiement de services d'accès en TDM conformes aux normes existantes de télécommunications à multiplexage par répartition dans le temps (p. ex. T1 ou E1) nécessitera aussi bien une synchronisation qu'une traçabilité rapportées à un même étalon temporel externe. Dans ce cas, si un câblo-modem prenant en charge les services d'accès en TDM est connecté à un dispositif EQAM de système M-CMTS, ce câblo-modem aura besoin d'être synchronisé avec le serveur DTI fonctionnant avec une référence externe de service TDM.

## 2 Références

La présente Recommandation se réfère à certaines dispositions des Recommandations UIT-T et textes suivants qui, de fait, en sont partie intégrante. Les versions indiquées étaient en vigueur au moment de la publication de la présente Recommandation. Toute Recommandation ou tout texte étant sujet à révision, les utilisateurs de la présente Recommandation sont invités à se reporter, si possible, aux versions les plus récentes des références normatives suivantes. La liste des Recommandations de l'UIT-T en vigueur est régulièrement publiée. La référence à un document figurant dans la présente Recommandation ne donne pas à ce document, en tant que tel, le statut d'une Recommandation.

- [UIT-T G.812]      Recommandation UIT-T G.812 (2004), *Spécifications de rythme des horloges asservies utilisées comme horloges nodales dans les réseaux de synchronisation.*
- [UIT-T G.823]      Recommandation UIT-T G.823 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques basés sur la hiérarchie à 2048 kbit/s.*
- [UIT-T G.824]      Recommandation UIT-T G.824 (2000), *Régulation de la gigue et du dérapage dans les réseaux numériques fondés sur la hiérarchie à 1544 kbit/s.*
- [UIT-T J.122]      Recommandation UIT-T J.122 (2002), *Systèmes de transmission de deuxième génération pour les services interactifs de télévision par câble – Câblo-modems pour protocole IP.*

- [ISO/CEI 8802-3] ISO/CEI 8802-3: 2000, *Technologies de l'information – Télécommunications et échange d'information entre systèmes – Réseaux locaux et métropolitains – Prescriptions spécifiques – Partie 3: Accès multiple par surveillance du signal et détection de collision (CSMA/CD) et spécifications pour la couche physique.*
- [T1.101]\* ANSI T1.101 (1999), *Norme d'interface de synchronisation.*

## 2.1 Acquisition de référence

- American Institute of Electrical Engineers, Internet: <http://www.ieee.org/portal/site>
- American National Standards Institute, Internet: <http://webstore.ansi.org>

## 3 Termes et définitions

La présente Recommandation utilise les termes suivants:

**3.1 mode de pontage:** condition d'exploitation à court terme de l'horloge DTI dans laquelle le client DTI a récemment perdu son entrée de commande et est en train d'utiliser des données mémorisées, acquises en fonctionnement normal ou en mode rapide, afin de commander sa sortie. Au cours du pontage, le degré de décalage de la sortie est censé être tel que l'horloge de client DTI fonctionne encore dans des limites normales ou acceptables. Si la période d'indisponibilité persiste, l'horloge de client DTI passera au mode de maintien, indiquant que la sortie d'horloge du client DTI peut être dégradée.

**3.2 oscillateur minimal d'horloge DTI:** oscillateur qui prend en charge toutes les exigences de performance d'horloge client avec un maintien limité à la durée minimale de pontage. Un oscillateur non thermostaté peut servir à prendre en charge cette catégorie d'oscillateur.

**3.3 mode rapide:** condition d'exploitation d'une horloge quand celle-ci est calée sur une référence externe et est en train d'utiliser des constantes de temps réduites afin de mettre rapidement la fréquence de l'oscillateur local en accord approché avec la fréquence étalon de synchronisation.

**3.4 mode autonome:** condition d'exploitation d'une horloge DTI dont les signaux de sortie sont contrôlés à l'intérieur du serveur DTI. L'horloge n'a jamais eu – ou a perdu – l'entrée de la référence externe et n'a aucun accès à des données mémorisées qui ont été acquises à partir d'une référence externe déjà connectée après le dernier cycle d'alimentation. Le mode autonome se termine quand la sortie d'horloge est influencée par une référence externe ou par le processus visant à réaliser le calage sur une référence externe. Le mode autonome peut offrir la stabilité requise quand la référence externe a été perdue ou n'a pas été connectée.

**3.5 gpssec:** compteur de pointeurs temporels de 32 bits qui est incrémenté à chaque seconde. Le temps du système GPS a commencé le 6 janvier 1980. La valeur du compteur gpssec a été réglée à zéro le 6 janvier 1980, début de période historique.

**3.6 mode de maintien:** condition d'exploitation d'une horloge DTI qui a perdu son entrée de commande et est en train d'utiliser des données mémorisées, acquises en fonctionnement normal ou en mode rapide, afin de commander sa sortie. Les données mémorisées sont filtrées afin de minimiser les effets des variations à court terme et afin d'établir un prédicteur du comportement de l'oscillateur pendant l'indisponibilité de la référence, ce qui permet de minimiser l'écart en sortie par rapport au fonctionnement normal.

---

\* Les normes T1 sont maintenues par l'ATIS depuis novembre 2003.

**3.7 erreur maximale d'intervalle temporel (MTIE, *maximum time interval error*):** dans une séquence d'échantillons de retard  $x_i$ , l'erreur MTIE à l'instant d'observation (S) est la suivante:

$$\text{Mesure de l'erreur MTIE: } MTIE(S) = \max_{j=1}^{N-n+1} \left[ \max_{i=j}^{n+j-1}(x_i) - \min_{i=j}^{n+j-1}(x_i) \right]$$

où:

$\tau_o$  = période d'échantillonnage

$N$  = nombre d'échantillons dans la séquence

$n = \lceil S/\tau_o \rceil + 1$

$S$  = instant d'observation

$x_i$  = échantillon de retard

**3.8 mode normal:** condition d'exploitation d'une horloge dans laquelle les signaux de sortie sont contrôlés par une référence d'entrée externe. Le mode et l'état attendus permettent à chaque horloge d'une distribution d'avoir la même valeur moyenne de fréquence et de temps à long terme. Les horloges qui sont dans ce mode sont dites *calées* ou *verrouillées*, c'est-à-dire qu'elles sont en étroite relation avec l'horloge DTI principale. Une horloge du serveur DTI en mode autonome exempt de dérangements sera considérée comme étant en mode normal

**3.9 serveur DTI principal:** serveur DTI qui est la source de valeurs traçables de temps et de fréquence pour tous serveurs et clients DTI subordonnés dans un bâtiment.

## 4 Abréviations et acronymes

La présente Recommandation utilise les abréviations et acronymes suivants:

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CM     | câblo-modem                                                                                                                                                                                                                                                    |
| CMTS   | système de terminaison de câblo-modem ( <i>cable modem termination system</i> )                                                                                                                                                                                |
| CRC    | contrôle de redondance cyclique                                                                                                                                                                                                                                |
| DEPI   | interface physique externe en aval ( <i>downstream external PHY interface</i> )                                                                                                                                                                                |
| DOCSIS | spécification d'interface du service de transmission de données par câble ( <i>data-over-cable service interface specification</i> )                                                                                                                           |
| DS     | aval ( <i>downstream</i> )                                                                                                                                                                                                                                     |
| DTI    | interface de synchronisation DOCSIS ( <i>DOCSIS timing interface</i> )                                                                                                                                                                                         |
| DTS    | compteur temporel DOCSIS de 32 bits ( <i>32-bit DOCSIS time stamp</i> )                                                                                                                                                                                        |
| EQAM   | modulateur d'amplitude en quadrature situé en périphérie. Élément de réseau qui reçoit des trames MPEG-TS par l'intermédiaire d'une interface avec un réseau tel qu'Ethernet et qui les module sur des porteuses MAQ pour utilisation dans un déploiement HFC. |
| ERMI   | interface avec le gestionnaire de ressource périphérique ( <i>edge resource manager interface</i> )                                                                                                                                                            |
| GE     | Ethernet à 1 Gbit/s ( <i>gigabit Ethernet</i> )                                                                                                                                                                                                                |
| GPS    | système mondial de localisation ( <i>global positioning system</i> )                                                                                                                                                                                           |
| IE     | élément d'information d'un message MAP ( <i>information element</i> )                                                                                                                                                                                          |
| IP     | Protocole Internet ( <i>Internet protocol</i> )                                                                                                                                                                                                                |

|                         |                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M-CMTS                  | système CMTS modulaire ( <i>modular CMTS</i> )                                                                                                                                     |
| MAC                     | commande d'accès au support (abréviation utilisée afin de faire référence à l'élément de couche 2 du système qui contiendra le verrouillage de trames et la signalisation DOCSIS). |
| MPEG                    | groupe d'experts en images animées ( <i>motion picture experts group</i> )                                                                                                         |
| MPEG-TS                 | train de transport MPEG ( <i>motion picture experts group transport stream</i> )                                                                                                   |
| MTIE                    | erreur maximale d'intervalle temporel ( <i>maximum time interval error</i> )                                                                                                       |
| NCO                     | oscillateur contrôlé par le réseau ( <i>network controlled oscillator</i> )                                                                                                        |
| PCR                     | référence temporelle du programme ( <i>program clock reference</i> )                                                                                                               |
| PHY                     | couche Physique (utilisée afin de faire référence aux émetteurs QAM en voie descendante et aux démodulateurs de rafales montantes (récepteurs)).                                   |
| PID                     | identificateur de paquet utilisé dans un train MPEG-TS ( <i>packet identifier used in MPEG-RS</i> )                                                                                |
| PLL                     | boucle à verrouillage de phase ( <i>phase-locked loop</i> )                                                                                                                        |
| PUSI                    | indicateur de début d'unité de charge utile ( <i>payload unit start indicator</i> )                                                                                                |
| QAM                     | modulation d'amplitude en quadrature ( <i>quadrature amplitude modulation</i> )                                                                                                    |
| S-CDMA                  | accès multiple par répartition en code – synchrone ( <i>synchronous code division multiple access</i> )                                                                            |
| TDM                     | multiplexage par répartition dans le temps ( <i>time division multiplexing</i> )                                                                                                   |
| TDMA                    | accès multiple par répartition dans le temps ( <i>time division multiple access</i> )                                                                                              |
| services d'accès en TDM | trains existants de transport de voix et/ou données au débit T1/E1 ou T3/E3                                                                                                        |
| UDP                     | protocole datagramme d'utilisateur ( <i>user datagram protocol</i> )                                                                                                               |
| US                      | en voie montante ( <i>upstream</i> )                                                                                                                                               |
| UTC                     | temps universel coordonné; également appelé <i>temps moyen de Greenwich</i> (GMT) ou <i>TMG</i> ( <i>coordinated universal time</i> )                                              |

## 5 Conventions

Dans l'ensemble de la présente Recommandation, les termes employés pour définir l'importance d'une prescription particulière sont imprimés en majuscules. Ce sont les suivants:

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| "DOI(VEN)T"        | Ce mot ou l'adjectif "REQUIS(E)(S)" signifie que l'élément est une exigence absolue de la présente Recommandation.                                                                                                                                                               |
| "NE DOI(VEN)T PAS" | Cette expression signifie que l'élément est une interdiction absolue de la présente Recommandation.                                                                                                                                                                              |
| "DEVRAI(EN)T"      | Ce mot ou l'adjectif "RECOMMANDE(E)(S)" signifie que, dans des circonstances particulières, il peut exister des raisons valables d'ignorer cet élément; mais il faut en comprendre toutes les implications et étudier attentivement le cas avant de choisir une voie différente. |

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| "NE DEVRAI(EN)T PAS" | Cette expression signifie que, dans des circonstances particulières, il peut exister des raisons valables de considérer le comportement indiqué comme acceptable ou même utile; mais il faut en comprendre toutes les implications et étudier attentivement le cas avant d'implémenter un quelconque comportement décrit avec cette mention. |
| "PEU(VEN)T"          | Ce mot signifie que cet élément est véritablement facultatif. Un vendeur peut choisir d'inclure l'élément, par exemple parce qu'un marché particulier le requiert ou parce qu'il améliore le produit; un autre vendeur PEUT omettre le même élément.                                                                                         |

## 6 Exigences relatives à la couche Physique

Le présent paragraphe est normatif et spécifie les exigences relatives à la couche Physique du protocole DTI.

### 6.1 Introduction

La liaison avec l'interface DTI constitue la connexion entre un serveur DTI et divers autres éléments tels que: cœur de système M-CMTS, dispositif EQAM et récepteurs de voies montantes copositionnés dans le nœud afin de calculer leur pointage temporel (temps et fréquence) en provenance du serveur DTI. Etant donné que cette liaison ressemble à une liaison Ethernet (802.3) par paire téléphonique torsadée non blindée (10BaseT), il est avantageux de déployer la disponibilité et rentabilité de cette norme. La présente Recommandation définit les différences entre l'interface de synchronisation DOCSIS et une interface conventionnelle 802.3-10BaseT. Le Tableau 6-1 indique la similitude entre les deux liaisons.

**Tableau 6-1 – Comparaisons dans la couche Physique**

| Caractéristiques                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Ethernet 802.3-10BaseT                      | Interface de synchronisation DOCSIS     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Débit binaire (Mbit/s)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 10                                          | 5,12                                    |
| Précision                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Mode autonome; $100.10^{-6}$                | Traçable jusqu'à l'horloge de référence |
| Mode(s) de transmission                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Bilatérale simultanée/à l'alternat (Note 1) | Alternat (Note 1)                       |
| Topologie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Radiale (Note 2)                            | Radiale (Note 2)                        |
| Longueur maximale de segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 100 m                                       | 200 m                                   |
| Média                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | UTP                                         | UTP                                     |
| Méthode de signalisation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Bande de base                               | Bande de base                           |
| Modulation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Manchester                                  | Manchester                              |
| <p>NOTE 1 – Les émetteurs Ethernet 802.3 conventionnels utilisent des paires torsadées distinctes pour la transmission dans les deux sens. L'interface DTI utilise un processus d'alternat dans lequel la même paire sert à la transmission dans les deux sens, ce qui garantit une réciprocité maximale, minimise l'asymétrie des retards de transmission entre les deux sens et minimise la diaphonie.</p> <p>NOTE 2 – Les installations Ethernet conventionnelles utilisent un câblage en configuration radiale dont le centre est un commutateur ou site répartiteur. Dans le scénario de l'interface DTI, le centre (point commun) est le serveur DTI.</p> |                                             |                                         |

La norme applicable au réseau Ethernet (couche Physique) est la référence [ISO/CEI 8802-3]. Les spécifications de couche Physique (essentiellement la section 14 de cette norme) sont applicables ici.

## 6.2 Description du connecteur de couche Physique

Le serveur DTI, ainsi que le client DTI, DOIVENT avoir une embase RJ45 pour chaque liaison avec l'interface DTI, ce qui permet d'appliquer les techniques conventionnelles de câblage Ethernet. Voir la référence [ISO/CEI 8802-3], section 14.5.1. Une distinction est que l'interface DTI utilise une unique paire pour la transmission dans les deux sens. Une fonction de transition n'est donc pas requise. Les contacts 1 et 2, étiquetés "SIG+" et "SIG–" serviront à la transmission en alternat.

L'interconnexion du câble DOIT être conforme au Tableau 6-2.

**Tableau 6-2 – Interconnexion d'interface DTI par connecteur RJ45**

| Numéro de broche RJ45 | Signal | Commentaire   |
|-----------------------|--------|---------------|
| 1                     | SIG+   | Selon 10BaseT |
| 2                     | SIG–   | Selon 10BaseT |
| 3                     | NC     |               |
| 4                     | NC     |               |
| 5                     | NC     |               |
| 6                     | NC     |               |
| 7                     | NC     |               |
| 8                     | NC     |               |

## 6.3 Exigences relatives au câble

L'interface DTI DOIT fonctionner normalement sur un tronçon de câble UTP (paire torsadée non blindée) d'une longueur maximale de 200 m, de catégorie nominale 5E ou meilleure.

## 6.4 Description des caractéristiques électriques

### 6.4.1 Impédance

L'impédance de terminaison DOIT être de 100  $\Omega$ . L'impédance différentielle de sortie telle que mesurée dans le circuit TD (décodeur de transport) DOIT être conforme à la section 14.3.1.2.2 de [ISO/CEI 8802-3]. La symétrie d'impédance de l'émetteur, ou le rapport de symétrie d'impédance en mode commun au mode différentiel dans le circuit TD DOIT dépasser  $29 - 17 \log_{10}(f/10)$  dB, où  $f$  est la fréquence en mégahertz dans la gamme de fréquence de 1,0 MHz à 20 MHz (voir la section 14.3.1.2.4 de [ISO/CEI 8802-3]).

### 6.4.2 Isolation

Il DOIT y avoir une isolation entre les circuits de couche Physique, y compris entre la masse du châssis et tous les conducteurs y compris ceux qui sont inutilisés par la liaison avec l'interface DTI. L'exigence relative à l'isolation est conforme à la référence [ISO/CEI 8802-3], section 14.3.1.

### 6.4.3 Considérations relatives au brouillage électromagnétique

La liaison avec l'interface DTI sera conforme aux codes locaux et nationaux applicables à la limitation du brouillage électromagnétique.

#### **6.4.4 Intensité (tension) du signal**

La tension différentielle de crête par symbole entre signaux SIG± bouclés sur une charge résistive de 100 Ω dans le serveur DTI DOIT être comprise entre 2,2 V et 2,8 V pour toutes les séquences de données. Dans le cas d'une structure de codage de Manchester en série de zéros, tout harmonique pair mesuré dans le circuit TD DOIT être au moins à 27 dB au-dessous de la fondamentale. La grandeur totale de la tension de sortie en mode commun DOIT être inférieure à 50 mV crête.

#### **6.4.5 Affaiblissement en mode commun**

Dans une application de tension en mode commun de 15 V crête en onde sinusoïdale à ~10 MHz (voir le § 14.3.1.2.6 de [ISO/CEI 8802-3]), la tension en mode différentiel NE DOIT PAS varier de plus de 100 mV dans toutes les séquences de données. La gigue introduite en extrémité DOIT être inférieure à 3 ns.

#### **6.4.6 Description du signal**

La transmission entre le serveur DTI et le client DTI DOIT être à l'alternat, au moyen de la même paire de fils que pour la transmission dans les deux sens. La structure des données DOIT être le codage Manchester avec un débit sous-jacent de 5,12 Mbit/s, calé sur l'horloge DTI principale.

### **7 Protocole de synchronisation DOCSIS**

Voir au § 1.1 une description informative du protocole DTI.

#### **7.1 Entités de synchronisation à l'interface DTI**

Le protocole d'interface DTI est pris en charge par deux entités terminales:

- 1) serveur DTI;
- 2) client DTI.

Les entités fonctionnelles du serveur DTI et de client DTI font partie de l'architecture d'un système M-CMTS. La fonction de client DOCSIS est structurée afin de permettre d'insérer une fonction d'horloge client économique dans tous les dispositifs EQAM, dans tous les récepteurs de flux montants et dans toutes les entités de cœur de système M-CMTS.

Le serveur DTI DEVRAIT prendre en charge de multiples fonctions de client de façon à assurer une croissance modulable de la capacité d'une interface DTI en terme de ports à l'intérieur d'un nœud ou d'un bâtiment.

Le serveur DTI DOIT prendre en charge une interface de gestion SNMP, l'adressage IP et l'emploi de connecteurs RJ45.

Un serveur DTI situé dans un bâtiment unique PEUT se composer de composants actifs et passifs de serveur, situés dans un tiroir commun et/ou dans des sous-tiroirs (alvéoles) du serveur DTI.

Un serveur DTI PEUT prendre en charge au moins une des deux capacités suivantes:

- 1) fonctionnement comme sous-serveur;
- 2) sorties DTI capables de prendre en charge des sous-serveurs DTI.

Les exigences suivantes en termes de précision peuvent être confirmées avec un client à retard étalonné offrant un nombre suffisant de points de mesure pour déterminer la valeur actuelle du biais de retard étalonné.

Toutes les sorties du serveur DTI principal DOIVENT satisfaire une exigence de précision de 1,25 ns lors d'un essai avec un client à retard étalonné par rapport au port d'essai de l'horloge de référence du serveur DTI principal, après correction afin de tenir compte du temps de propagation de groupe au port d'essai.



Toutes les sorties de sous-serveur DTI DOIVENT satisfaire une exigence de précision de 2,5 ns lors d'un essai avec un client à retard étalonné par rapport au port d'essai de l'horloge de référence du serveur DTI principal, après correction afin de tenir compte du temps de propagation de groupe au port d'essai.

Une sortie d'interface DTI qui peut prendre en charge un sous-serveur DTI DOIT satisfaire une exigence de précision de 1,25 ns lors d'un essai avec client à retard étalonné en conditions normales d'exploitation. Un dispositif EQAM de système M-CMTS, un cœur de système M-CMTS ou un récepteur de flux montants distinct DOIT prendre en charge au moins une interface avec un client DTI.

Un serveur DTI en mode asservi est destiné à n'accepter une entrée DTI qu'à partir d'un serveur principal.

Un système M-CMTS PEUT prendre en charge de multiples clients DTI si la protection contre la panne d'un câble d'interconnexion DTI est recherchée.

Si un système M-CMTS possède plusieurs clients DTI, il NE DOIT PAS basculer en client de protection en raison d'une perte d'entrée DTI, avant l'expiration d'une temporisation minimale de 500 ms.

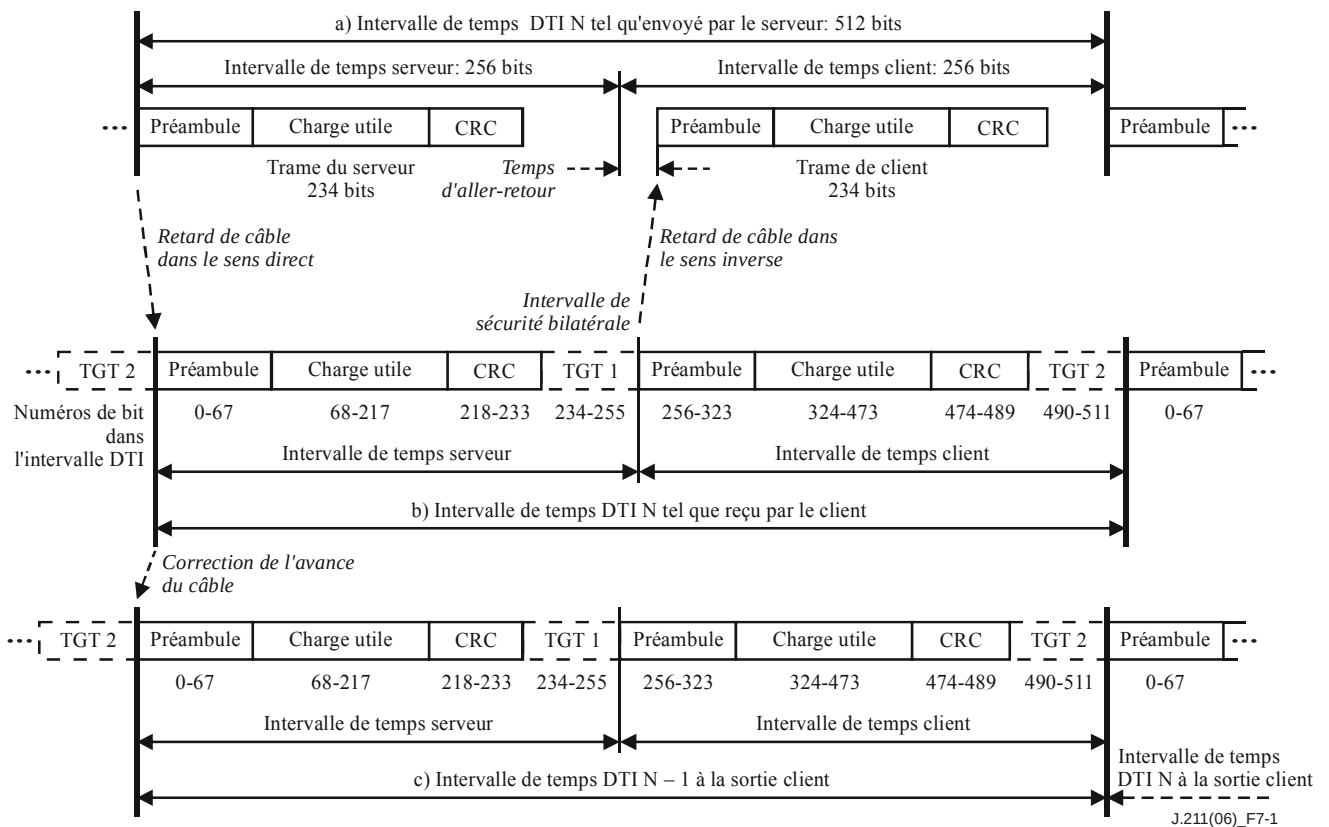
## **7.2 Structure de synchronisation à l'interface DTI**

La Figure 7-1 définit la structure du protocole de synchronisation DOCSIS comme étant:

- a) envoyé par le serveur;
- b) reçu par le client après le retard du câble;
- c) émis par le port d'essai client après correction de l'avance temporelle du câble.

La structure de niveau le plus élevé est l'intervalle de temps DTI. Un intervalle DTI occupe 1024 périodes de l'horloge de référence (à 10,24 MHz) couvrant  $1/10 \text{ kHz} = 100 \mu\text{s}$ . Une période binaire se compose de deux comptages consécutifs des bits de l'horloge de référence à partir d'une valeur paire: il y a donc 512 périodes binaires dans un créneau DTI. L'intervalle de temps est calé sur le compteur temporel DOCSIS de 32 bits (DTS), de façon que la période binaire actuelle d'un intervalle soit l'entier calculé comme suit:

$$\text{comptage\_binaire\_actuel} = \text{plancher}[(\text{DTS} \bmod 1024)/2]$$



**Figure 7-1 – Structure de synchronisation du protocole à l'interface DTI**

Le rythme des intervalles DTI reçus par le client est décalé par rapport au rythme des intervalles DTI émis par le serveur, d'une valeur égale au temps de propagation dans le câble (plus tout retard de groupe et de circuit). Etant donné que le client en régime établi poursuit le serveur, le client décompte une succession uniforme de créneaux binaires calés sur sa propre horloge binaire à 5,12 MHz en répétant, modulo 512 bits, les intervalles DTI sans discontinuité. Le client reçoit toujours le premier bit de préambule, issu du serveur distant, dans l'intervalle binaire 0. Quand il émet, le client DOIT transmettre le premier bit de son préambule dans l'intervalle binaire 256.

Le protocole d'interface DTI est en alternat par construction. Le serveur et le client partagent la ligne en utilisant le duplexage par répartition dans le temps (TDD, *time division duplexing*): l'un émet pendant que l'autre reçoit. L'intervalle de temps DTI est subdivisé en deux intervalles égaux: l'intervalle serveur et l'intervalle client. Les unités de données protocolaires (PDU, *protocol data unit*) de communication dans la couche 2 sont appelées *trames*. Les trames du serveur distant comme de client ont une longueur de 234 bits, chacune étant suivie par un intervalle de sécurité bilatéral (TGT) de 22 bits. La fonction de l'intervalle TGT1, situé après la trame du serveur, est de donner au client le temps de terminer son traitement de CRC et d'exécuter la commutation de réception/émission sur la ligne après réception de la trame du serveur. La fonction de l'intervalle TGT2, situé après la trame de client, est d'assurer le retard aller-retour du câble garantissant que la trame de client a été reçue par le serveur avant que celui-ci commence l'émission de sa prochaine trame de serveur, y compris le temps nécessaire au serveur afin d'exécuter la commutation de réception/émission sur la ligne après réception de la trame de client. Chaque intervalle TGT fournit approximativement 4,3 µs de temps de garde, ce qui dépasse largement le retard aller-retour maximal dans 200 m de câble, soit approximativement 2 µs.

A la sortie du client, le rythme de trame DTI a déjà été ajusté par la correction d'avance temporelle du câble, envoyée par le serveur afin d'aligner au plus près le rythme des trames en sortie de client sur le rythme des trames en sortie du serveur. Afin de tenir compte du déterminisme, les données reçues pendant la trame précédente sont mises en mémoire tampon et émises par le client après achèvement du contrôle CRC.

### 7.3 Traçabilité d'un compteur temporel DOCSIS

L'instant de coïncidence (TOC, *time of coincidence*) est un important concept permettant de comprendre la relation entre tout décompte de compteurs temporels DTI (DTS) de 32 bits et le temps du système GPS qui a commencé le 6 janvier 1980. Les récepteurs GPS fourniront un compteur temporel cumulé (gpssec) de 32 bits qui était à zéro au début de la période historique du 6 janvier. Le compteur gpssec est un compteur de pointeurs temporels de 32 bits qui est incrémenté à chaque seconde. Le compteur DTS est également un compteur de pointeurs temporels de 32 bits qui est incrémenté par chaque impulsion d'horloge de référence à 10,24 MHz. L'objectif consiste à appliquer de façon cohérente le temps actuel du système GPS au compteur temporel actuel DOCSIS.

Par définition, le compteur DTS peut recevoir une valeur égale à zéro au même début de période historique du 6 janvier 1980. A la seconde suivante, le compteur temporel DOCSIS va progresser de 10 000 intervalles avec 1024 impulsions d'horloge de référence par intervalle de temps, de sorte que la valeur du compteur DTS sera égale à 10 240 000.

L'instant TOC sera le prochain entier du compteur gpssec quand le compteur DTS sera exactement à zéro, ce qui se produira toutes les 262 144 secondes (~ tous les 3 jours)<sup>1</sup>. Si un processus de remise à zéro a été utilisé afin de synchroniser chaque compteur DTS dans un serveur distant, alors il faudra jusqu'à trois jours pour aligner un serveur distant au démarrage. L'approche consiste à produire une valeur initiale du compteur DTS par une fonction de mappage de façon que l'alignement puisse se produire à toute frontière de seconde.

La fonction de mappage du compteur gpssec sur le compteur DTS dans le serveur DTI DOIT être la suivante:

$$DTS = 2^{10} * [(10\,000 * (\text{gpssec} \bmod 262144)) \bmod 2^{22}]$$

Un client qui implémente l'option de l'horloge de référence à 10,24 MHz va utiliser directement le compteur DTS du serveur. Un client qui implémente l'option de l'horloge de référence à 9,216 MHz va appliquer le compteur gpssec à un compteur DTS de client DTI à 9,216 MHz conformément à la formule indiquée dans le § 8.2.

Les quatre modes de réglage de l'heure légale sont les suivants:

- 1) par le système GPS;
- 2) par l'utilisateur;
- 3) par défaut;
- 4) par protocole de synchronisation de réseau (NTP, *network timing protocol*), version 4 ou supérieure.

Le mode de traçabilité GPS offre la capacité de réglage du temps la plus précise. Quel que soit le mode de réglage de l'heure légale, le serveur DTI DOIT convertir les informations d'heure légale en valeur de compteur gpssec équivalente.

---

<sup>1</sup> L'échelle temporelle du compteur gpssec reviendra à zéro tous les 136 ans. Comme il y aura exactement 16 384 débordements du compteur TOC entre les débordements du compteur gpssec, il n'y aura aucune interruption du compteur DTS.

L'heure réglée par un utilisateur permet à celui-ci d'introduire un réglage approximatif de l'heure légale au moyen d'une interface locale ou distante avec cet utilisateur. L'opération de réglage de l'heure par défaut, si elle est sélectionnée, effectuera un réglage grossier de l'heure légale après une réinitialisation ou un cycle d'alimentation. L'heure légale est fondée sur la valeur actuelle de l'horloge en temps réel contenue dans le serveur.

Le mode de réglage de l'heure par protocole NTP, s'il est pris en charge, permettra au serveur DTI d'établir un réglage temporel par protocole NTP tel qu'il est actuellement configuré dans le serveur DTI. Si le mode de réglage par NTP est pris en charge, le serveur DTI DOIT prendre en charge la version 3 ou une version supérieure de ce protocole.

Le serveur DTI DOIT prendre en charge un moyen permettant de configurer les modes de réglage de l'heure légale: réglage de l'heure par l'utilisateur, réglage de l'heure par défaut, réglage par protocole NTP ou réglage par système GPS.

### **7.3.1 Mode fréquentiel GPS**

Afin d'assurer la continuité de la base de temps DTI lors d'une transition du mode autonome ou du mode réseau au mode GPS, un état intermédiaire, appelé *mode fréquentiel GPS*, est défini. Quand le serveur DTI passe du mode autonome ou du mode réseau au mode fréquentiel GPS, la fréquence de sortie à 10,24 MHz du serveur DTI est réglée progressivement de façon à poursuivre la fréquence du système GPS tout en conservant la continuité des compteurs temporels DTI. Le système peut demeurer en mode fréquentiel GPS pendant une période étendue. Si et quand le serveur DTI passe du mode fréquentiel GPS au mode GPS, les compteurs temporels DTI sont recalés sur l'heure GPS; ce processus peut être effectué de façon discontinue, pendant une période de maintenance programmée.

Lors d'une transition du mode autonome ou du mode réseau au mode GPS, le serveur DTI DOIT d'abord passer en mode fréquentiel GPS.

Dans le mode fréquentiel GPS, le serveur DTI DOIT maintenir le mode de réglage temporel et l'état de validité existants, sauf modification en conséquence d'une entrée de réglage temporel par l'utilisateur.

Le serveur DTI DOIT prendre en charge une entrée par l'utilisateur afin de programmer dans le temps une transition temporelle du mode fréquentiel GPS au mode GPS.

Le serveur DTI fonctionnant en calage normal sur le mode fréquentiel GPS DOIT satisfaire les mêmes exigences en terme d'erreur MTIE qu'en mode GPS.

Pendant la transition du calage normal sur le mode autonome au calage normal sur le mode fréquentiel GPS, toutes les exigences relatives au mode autonome du serveur DTI DOIVENT être satisfaites.

Pendant la transition du calage normal sur le mode réseau au calage normal sur le mode fréquentiel GPS, toutes les exigences relatives à l'erreur MTIE en calage normal sur le mode réseau DOIVENT être satisfaites.

En conditions étendues de maintien du mode GPS, il est possible de passer à la région de performance dégradée par erreur MTIE. Le serveur DTI a besoin de prendre en charge une reprise progressive à partir de cet état si celui-ci devait apparaître. L'exigence suivante s'applique:

lors d'une reprise sur condition dégradée en mode GPS, le serveur DTI DOIT prendre en charge la capacité de stabiliser la fréquence afin de compenser au moins 1 ms de décalage au cours d'une période de reprise inférieure à 24 heures sans dépasser les limites de performance en mode autonome.

En mode utilisateur et en mode par défaut, il n'y a aucune exigence visant à régler l'échelle temporelle DTI et la sortie d'heure ToD après le réglage temporel initial. Les services temporels de l'interface DTI n'ont qu'une application locale et ne sont pas traçables jusqu'au temps du système GPS.

Si le serveur DTI prend en charge l'ajustement en fréquence de l'échelle temporelle en mode NTP, le vendeur DEVRAIT spécifier la performance en terme de précision temporelle selon une ou plusieurs configurations de protocole NTP définies par ce vendeur.

Si le serveur DTI prend en charge l'ajustement en fréquence de l'échelle temporelle en mode NTP, les exigences en terme de performance à la sortie du serveur DTI DOIVENT satisfaire l'exigence de performance du mode d'exploitation du système (autonome ou en réseau).

Si l'ajustement en fréquence de l'échelle temporelle en mode NTP a besoin d'être suspendu afin d'empêcher la dégradation de la sortie, le serveur DTI DOIT signaler cette condition.

Si l'utilisateur demande une transition du réglage temporel d'utilisateur ou du réglage par défaut au réglage NTP après établissement du régime, le serveur DTI PEUT rejeter cette requête si la transition dégraderait la performance en sortie.

#### 7.4 Exigences relatives au verrouillage de trames DTI

Le verrouillage de trames DTI DOIT se composer d'un préambule suivi par la charge utile et finalement par un CRC de 16 bits comme représenté dans la Figure 7-2. La longueur de la trame DTI, y compris le préambule et le CRC, DOIT être de 234 bits. Le CRC NE DOIT être calculé que sur les bits de charge utile. Le flanc de croissance de l'impulsion de base de temps des trames DTI à 10 kHz DOIT être aligné sur le flanc de croissance du premier bit du préambule du serveur DTI. Le circuit client de recalage temporel numérique DOIT être tolérant aux impulsions d'horloge manquantes car toute erreur binaire dans la trame empêchera la validation du fanion de confirmation du CRC dans le contrôleur CRC du client.

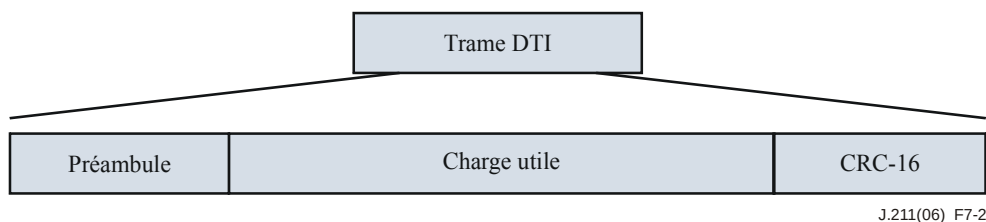


Figure 7-2 – Verrouillage de trames DTI

##### 7.4.1 Conventions applicables à la présente Recommandation

Dans la présente Recommandation, la convention ci-après s'applique à chaque fois qu'un champ binaire est affiché dans une figure. Le champ binaire devrait être interprété par lecture de gauche à droite, puis de haut en bas, le bit MSB étant le premier bit lu de cette façon et le bit LSB étant le dernier bit lu de cette façon. Les trames DTI sont transmises avec l'élément de plus fort poids en premier. Dans les champs binaires, le bit de plus fort poids DOIT toujours être émis en ligne le premier. Il y a neuf champs binaires qui constituent une trame dans chaque sens. Ces champs DOIVENT transmettre en ordre numérique, de la valeur la plus basse à la plus élevée (voir les Tableaux 7-1 et 7-2 pour l'ordre des champs).

### 7.4.2 De serveur à client

Le verrouillage de trame dans le sens de serveur à client DOIT fonctionner comme représenté ci-dessous dans le Tableau 7-1.

**Tableau 7-1 – Verrouillage de trame du serveur DTI**

| Champ | Nom                                | Taille (bits) | Description                                                                               |
|-------|------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Préambule                          | 68            | Préambule de 0xAAAA AAAA AAAA AAAA 9 avant codage de Manchester                           |
| 2     | Type de dispositif                 | 8             | Octet décrivant le type du serveur                                                        |
| 3     | Fanions de statut du serveur       | 8             | 8 fanions identifiant le statut du serveur                                                |
| 4     | Compteur temporel supérieur docsis | 22            | 22 bits de plus fort poids du compteur DTS                                                |
| 5     | Heure legale                       | 10            | Champ prenant en charge un message ToD en série sur trames multiples.                     |
| 6     | Avance du câble                    | 24            | Valeur entière et fractionnaire de l'avance du câble                                      |
| 7     | Champ de traçabilité du chemin     | 10            | Champ prenant en charge un message de traçabilité du chemin en série sur trames multiples |
| 8     | Réservé                            | 68            | Tous les bits sont forcés à "1"                                                           |
| 9     | CRC-16                             | 16            | CRC de 16 bits qui couvre tous les bits sauf le préambule                                 |
|       | Total des bits de charge utile     | 234           |                                                                                           |

Dans le sens du serveur à client, les détails du verrouillage de trame DTI sont les suivants.

#### 7.4.2.1 Préambule

Le préambule de 68 bits sert à aligner sur le client le circuit de recalage numérique et à localiser les transitions binaires dans le codage de Manchester qui contient ces informations. La séquence (0x9) "1001", située à la fin à du préambule, localise le début de la charge utile.

#### 7.4.2.2 Type de dispositif

Les 8 bits du champ de type de dispositif servent à identifier le type du serveur distant et sa source de rythme. Les bits contenus dans ce champ DOIVENT être assignés comme représenté ci-dessous:

##### **Bit 7:5      *Source de rythme externe (pour serveur principal)***

000: le serveur distant n'a aucune source de rythme externe

001: le serveur distant reçoit actuellement le rythme externe du système GPS

010: le serveur distant reçoit actuellement le rythme à partir d'un réseau

011-111: champ réservé

##### **Bit 4:3      *Nombre de relais du serveur distant***

00: le serveur distant est le serveur DTI principal pour la distribution générale

01: le serveur distant est directement connecté au serveur DTI principal.

10-11: champ réservé

**Bit 2:0      *Type d'horloge du serveur principal:***

000: l'horloge du serveur est de type UIT I

001: l'horloge du serveur est de type UIT II

010: l'horloge du serveur est de type UIT III

011: l'horloge du serveur est de type ANSI T1.101 ST3 (fonctionnement en sauvegarde seulement)

100-111: champ réservé

**7.4.2.3      *Fanions de statut du serveur***

Ce champ de 8 bits sert à envoyer le statut du serveur à un client. Les informations contenues dans ce champ se rapportent au serveur DTI transmettant le protocole DTI. Les bits DOIVENT être assignés comme représenté ci-dessous.

**Bit 7:      *réservé***

**Bit 6:      *état stable de la performance client***

Ce bit, quand il est réglé à "1", indique que le serveur distant vérifie que la mesure du déphasage client est dans les limites acceptables de performance en exploitation.

**Bit 5:      *avance du câble***

Ce bit, quand il est réglé à "1", indique que le retard du câble a été calculé et que la valeur contenue dans le champ d'avance temporelle du câble est valide.

**Bit 4:      *mode de maintien***

Ce bit, quand il est réglé à "1", indique que le serveur distant a perdu sa référence de rythme et est en maintien.

**Bit 3:      *mode normal***

Ce bit, quand il est réglé à "1", indique que l'horloge est stable, s'est calée sur le rythme de référence et est conforme à la norme de base de temps appropriée.

**Bit 2:      *mode rapide***

Ce bit, quand il est réglé à "1", indique que l'horloge est en train d'utiliser une constante de temps courte. Une constante de temps plus courte est utilisée dans le circuit d'horloge afin d'abréger la durée de calage initial quand le serveur distant commence à se mettre en régime ou reçoit une référence pour la première fois.

**Bit 1:      *mode autonome***

Ce bit, quand il est réglé à "1", indique que le serveur distant est en fonctionnement avec une fréquence de sortie qui n'a pas été influencée par des signaux locaux de référence externe.

**Bit 0:      *établissement du régime***

Ce bit est réglé à 1 afin d'indiquer que l'oscillateur de référence n'est pas encore stabilisé.

**7.4.2.4      *Compteur temporel supérieur DOCSIS***

Ces 22 bits DOIVENT contenir la plus notable portion du compteur temporel DOCSIS de 32 bits, qui est celle qui reste constante pendant toute une période de trame DTI (1/10 kHz = 100 µs). Ces bits servent à charger et/ou surveiller les 22 bits de poids fort du compteur temporel DOCSIS de 32 bits dans le client. Les 10 bits de poids faible du compteur temporel DOCSIS contenu dans le client représentent le nombre d'impulsions d'horloge à 10,24 MHz depuis le début de la trame DTI. Ensemble, ces deux champs créent la totalité du compteur temporel DOCSIS de 32 bits.

#### 7.4.2.5 Heure légale

Le message d'heure légale (ToD) donne l'heure en format binaire et facultativement en format ASCII, à 1 seconde près dans chaque cas. Le temps du compteur gpssec et la seconde intercalaire sont envoyés en format binaire. En mode prolix, la date civile en format ASCII est également envoyée, y compris une date ordinale modifiée et des informations d'horodatage local. Le message ToD est transmis à un débit de 10 bits (1 octet de charge utile et 2 bits de commande) par trame DTI et est sous-commuté de façon à couvrir de multiples trames DTI. Le premier bit de commande indique que l'emplacement du nombre d'impulsions par seconde coïncidera avec le début de la prochaine trame. Le second bit de commande est un fanion valide de données qui s'applique à l'octet de charge utile. Le fanion valide de données peut servir à arrêter et relancer le train d'octets sous-commuté. Quand le fanion valide de données est 0, l'octet de charge utile DOIT contenir une série de chiffres 1. Quand le fanion valide de données est 1, l'octet de charge utile DOIT contenir le prochain octet en série dans le message ToD. Le message ToD correspondant à un nombre d'impulsions par seconde (PPS, pulse-per-second) donné DOIT commencer la transmission d'une ou de plusieurs trames après la trame dans laquelle le bit du fanion PPS a été activé, et DOIT terminer cette transmission dans un intervalle de 100 ms. Les affectations binaires dans le champ de 10 bits du message ToD de chaque trame DTI DOIVENT être comme suit.

##### **Bit 9: fanion PPS**

Ce bit DOIT être réglé à "1" quand le début de la prochaine trame coïncide avec le nombre d'impulsions par seconde du serveur DTI<sup>2</sup>. Le "1" validé indique que le prochain bit de position du fanion PPS contenu dans la trame du serveur DTI sera le compteur de coïncidence des informations de comptage PPS qui viennent d'être transférées pendant la dernière seconde écoulée. Cette trame de coïncidence temporelle DOIT contenir le premier octet du message ToD. Le bit du fanion PPS est validé toutes les 10 000 trames.

##### **Bit 8: bit de validité des données**

Ce bit est réglé à "1" afin d'indiquer que l'octet de charge utile (les 8 bits suivants) contient des données valides.

##### **Bit 7-0:**

Ce champ contient l'octet de charge utile du message ToD sous-commuté, qui DOIT être conforme au Tableau 7-2.

**Tableau 7-2 – Format de message ToD sous-commuté**

| Numéro d'octet | Longueur | Type    | Format                                                  | Nom                    | Description                                          |
|----------------|----------|---------|---------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------|
| 1              | 1        | Binaire | Voir la description du champ de statut ToD au § 7.4.2.6 | Statut ToD             |                                                      |
| 2-5            | 4        | Binaire |                                                         | Compteur gpssec        | Compteur temporel gpssec de 32 bits                  |
| 6              | 1        | Binaire |                                                         | Secondes intercalaires | Secondes intercalaires additives entre gpssec et UTC |

<sup>2</sup> Le compteur d'impulsions par seconde (PPS) est autonome, sauf en mode GPS où il est aligné sur le premier comptage PPS du système GPS.



**Tableau 7-2 – Format de message ToD sous-commuté**

| Numéro d'octet                                                                               | Longueur | Type         | Format                                                                                                                                       | Nom                                | Description                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 7                                                                                            | 1        | 7 bits ASCII | Le caractère ASCII "*" (0x2A) désigne une date civile ToD valide<br><br>Le caractère ASCII "!" (0x21) désigne une date civile ToD non valide | Date civile ToD valide             |                                                                     |
| 8-12                                                                                         | 5        | 7 bits ASCII | MMMMM où M est un chiffre [0-9]<br>ASCII                                                                                                     | MJD                                | Date ordinale modifiée (nombre de jours depuis le 17 novembre 1958) |
| 13                                                                                           | 1        | 7 bits ASCII | Point décimal ASCII "." (0x2E)                                                                                                               |                                    |                                                                     |
| 14-23                                                                                        | 10       | 7 bits ASCII | Année/Mois/Jour<br>Année::[0000-9999]<br>Mois:[1-12]<br>Jour:[1-31]                                                                          | Date                               | Date locale                                                         |
| 24                                                                                           | 1        | 7 bits ASCII | Point décimal ASCII "." (0x2E)                                                                                                               |                                    |                                                                     |
| 25-32                                                                                        | 8        | 7 bits ASCII | Heure:Min:Sec<br>Heure:[00-23]<br>Min:[00-59]<br>Sec:[00-60] <sup>a)</sup>                                                                   | Heure                              | Heure locale                                                        |
| 33                                                                                           | 1        | 7 bits ASCII | Point décimal ASCII "." (0x2E)                                                                                                               |                                    |                                                                     |
| 34:38                                                                                        | 5        | 7 bits ASCII | SHH.F<br>S: signe [+ , -]<br>H: décalage en heures<br>F: [0] ou ([5] pour un décalage de 30 minutes)                                         | Décalage de fuseau horaire         | Décalage de fuseau horaire local                                    |
| 39                                                                                           | 1        | 7 bits ASCII | Point décimal ASCII "." (0x2E)                                                                                                               |                                    |                                                                     |
| 40                                                                                           | 1        | 7 bits ASCII | ASCII "D" (0x43)                                                                                                                             | Indicateur de seconde intercalaire |                                                                     |
| 41                                                                                           | 1        | 7 bits ASCII | Retour de chariot ASCII (0x0D)                                                                                                               |                                    |                                                                     |
| <sup>a)</sup> Cet indicateur de 60 secondes peut servir à indiquer une seconde intercalaire. |          |              |                                                                                                                                              |                                    |                                                                     |

#### 7.4.2.6 Champ de statut TOD

Cet octet sert à signaler le statut du message d'heure légale. Les bits contenus dans le champ de statut ToD DOIVENT être assignés comme représenté ci-dessous:

**Bit 7:4**      **Mode de réglage temporel**

- 0000: mode par défaut de réglage temporel
- 0001: mode utilisateur de réglage temporel
- 0010: mode NTP de réglage temporel
- 0011: mode GPS de réglage temporel
- 0100-1111: réservé

**Bit 3:2**      **Etat de l'heure ToD**

- 00: l'heure ToD n'est pas valide actuellement
- 01: l'heure ToD est valide
- 10-11: réservé

**Bit 1:0**      **Mode de message ToD**

- 00: mode de message abrégé. Octets de message 0-5 (binaire seulement)
- 01: mode de message prolix: le message contient tous les champs du Tableau 7-2
- 10-11: champ réservé

Le serveur DTI DOIT prendre en charge le mode de message abrégé pour l'acheminement de l'heure ToD.

Le mode de message prolix DEVRAIT être pris en charge par le serveur DTI.

Si plus d'un seul mode de message ToD est pris en charge, le mode par défaut DOIT être celui de message abrégé.

Si plus d'un seul mode de message ToD est pris en charge, le mode DEVRAIT être configurable sur chaque port.

#### 7.4.2.7 Avance du câble

L'avance du câble est décrite dans le § 8.1.2. Les informations d'avance temporelle du câble DOIVENT être contenues dans ce champ de 24 bits. Les 16 bits de poids fort de l'avance du câble DOIVENT contenir la partie entière de la valeur d'avance du câble contenue dans des périodes d'horloge échantillonnées à 149,8 MHz<sup>3</sup>. Les 8 bits restants, qui forment l'octet de plus faible poids de l'avance du câble, DOIVENT être la partie fractionnaire de l'avance du câble. Cette partie est contenue dans une période d'horloge à 149,8 MHz sur 1/256.

#### 7.4.2.8 Champ de traçabilité du chemin

Le champ de traçabilité du chemin compte 10 bits et DOIT servir à envoyer au client des données verrouillées en octets. Le champ de traçabilité du chemin DOIT être rempli comme suit:

**Bit 9:**      **Début de message**

Le bit de début de message contenu dans le champ de traçabilité du chemin DOIT être activé dans une trame afin d'indiquer le début d'un message de statut.

---

<sup>3</sup> L'horloge à grande vitesse de 149,8 MHz est plus précisément à 10,24 MHz \* 512/35.

**Bit 8:      Bit de validité des données**

Le bit de validité des données contenu dans le champ de traçabilité du chemin DOIT être réglé à "1" afin d'indiquer que les 8 prochains bits de données contiennent des données valides. Quand le bit de validité des données du champ de traçabilité du chemin est '0', le client DOIT ignorer le contenu des 8 bits de données qui suivent.

**Bit 7:0:      Octet de données**

Cet octet de données DOIT contenir les octets de données du message en série.

**Tableau 7-3 – Format de message de traçabilité du chemin**

| Nom                                                                                                                              | Type<br>(1 octet) | Longueur<br>(1 octet) | Valeur<br>(longueur variable)                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adresse IPv4 du serveur DTI principal                                                                                            | 1                 | 4                     | Adresse IP du serveur DTI principal (plus haut niveau dans l'arborescence)                                                                        |
| Numéro du port de sortie du serveur DTI principal                                                                                | 2                 | 1                     | Numéro du port de sortie du serveur principal pour cette interface DTI. Le comptage des numéros de port de sortie commence à 0 et va jusqu'à 255. |
| Adresse IPv4 du serveur DTI (à défaut de serveur principal)                                                                      | 3                 | 4                     | Adresse IP de la principale interface DTI avec le serveur DTI (à défaut de serveur principal)                                                     |
| Numéro du port de sortie de serveur DTI                                                                                          | 4                 | 1                     | Numéro du port de sortie de serveur pour cette interface DTI. Le comptage des numéros de port de sortie commence à 0 et va jusqu'à 255.           |
| Adresse IPv6 du serveur DTI principal                                                                                            | 5                 | 16                    | Adresse IP du serveur DTI principal (plus haut niveau dans l'arborescence)                                                                        |
| adresse IPv6 du serveur DTI (à défaut de serveur principal)                                                                      | 6                 | 16                    | Adresse IP du serveur DTI principal (plus haut niveau dans l'arborescence)                                                                        |
| Version d'interface DTI du serveur principal                                                                                     | 7                 | 1                     | Numéro de version d'interface DTI fonctionnant dans le serveur principal                                                                          |
| version d'interface DTI du serveur DTI                                                                                           | 8                 | 1                     | Numéro de version d'interface DTI fonctionnant dans le serveur DTI (à défaut de serveur principal)                                                |
| EOT                                                                                                                              | 9                 | 1                     | 0x00<br><br>Le sous-champ EOT identifie la fin du champ de traçabilité du chemin.                                                                 |
| NOTE – Dans les serveurs DTI conformes à la première édition de la présente Recommandation, cette valeur doit être égale à zéro. |                   |                       |                                                                                                                                                   |

S'il y a un sous-serveur DTI, l'adresse du serveur DTI principal DOIT être transmise au moyen du sous-serveur DTI aux clients DTI. En d'autres termes, un client DTI connecté à un serveur principal au moyen d'un serveur intermédiaire aura aussi bien une adresse IP de serveur principal qu'une adresse IP de serveur distant, dans le champ de traçabilité du chemin. Le serveur principal NE DOIT PAS transmettre les informations IP de niveau principal. Le champ de traçabilité du chemin DOIT suivre la séquence type-longueur-valeur comme représenté ci-dessous et suivre l'ordre des bits/octets déjà défini.

| Type | Longueur | Valeur | Type | Longueur | Valeur |
|------|----------|--------|------|----------|--------|
|------|----------|--------|------|----------|--------|

### 7.4.2.9 Champ réservé

Les 68 bits restants DOIVENT être réservés à l'usage futur. Ils seront remplis de chiffres '1' jusqu'à définition contraire.

### 7.4.2.10 CRC-16

Le champ CRC-16 DOIT contenir les deux octets du contrôle de redondance cyclique CRC-16. Le générateur CRC-16 DOIT être initialisé avec des chiffres '1' pendant les bits de préambule. Après le dernier bit du préambule, les données de charge utile DOIVENT être décalées au moyen du code générateur CRC-16. Après le dernier bit de la charge utile, la sortie en série DOIT être commutée à partir du registre à décalage d'émission jusqu'à la sortie du générateur CRC-16; puis 16 chiffres '1' supplémentaires DOIVENT être décalés au moyen du générateur afin d'extraire par décalage le CRC de 16 bits. Le polynôme générateur DOIT être:  $X^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ , qui est le polynôme générateur du CRC-16 de l'UIT-T.

Le flanc de croissance de la première position binaire après le CRC DOIT coïncider avec le flanc de croissance de la base de temps à 10 kHz de réception des trames.

### 7.4.3 De client à serveur

Le verrouillage de trames dans le sens de client à serveur distant DOIT fonctionner comme représenté ci-dessous dans le Tableau 7-4.

**Tableau 7-4 – Verrouillage de trames de client DTI**

| Champ | Nom                               | Taille | Description                                                                |
|-------|-----------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Préambule                         | 68     | Préambule de<br>0xAAAA AAAA AAAA AAAA 6<br>avant codage de Manchester      |
| 2     | Type de dispositif                | 8      | Octet décrivant le type de client                                          |
| 3     | Fanions de statut de client       | 8      | 8 bits de fanion identifiant le statut du client                           |
| 4     | Réservé                           | 22     | Mis à 1 s'il n'est pas utilisé                                             |
| 5     | Réservé                           | 10     | Mis à 1 s'il n'est pas utilisé                                             |
| 6     | Phase intégrée d'horloge client   | 24     | Valeur sur 16 bits du complément à 2 de la base de temps locale des trames |
| 7     | Version d'interface dti de client | 10     | Numéro de version d'interface DTI du client                                |
| 8     | Réservé                           | 68     | Tous les bits sont forcés à 1                                              |
| 9     | CRC-16                            | 16     | CRC de 16 bits qui couvre tous les bits sauf le préambule                  |
|       | Total des bits de charge utile    | 234    |                                                                            |

Dans le sens de client à serveur, les détails du verrouillage de trames DTI sont représentés ci-dessous.

#### 7.4.3.1 Préambule

Le préambule de 68 bits sert à aligner le circuit de recalage temporel sur le serveur distant et à localiser les transitions binaires dans le codage de Manchester qui contient ces informations. La séquence 0x6 "0110", située à la fin à du préambule, localise le début de la charge utile.

#### 7.4.3.2 Type de dispositif

Les 8 bits du champ de type de dispositif servent à identifier le type de client et sa source de rythme. Les bits du champ de type de dispositif DOIVENT être définis comme suit:

##### **Bit 7:4**      *Source de rythme*

La source de rythme ne doit pas être signalée au serveur.

Ces positions binaires sont réservées et seront remplies par des chiffres '1'.

##### **Bit 3:0**      *Type d'horloge client*

0000: l'oscillateur client est de type UIT 1

0001: l'oscillateur client est de type UIT 2

0010: l'oscillateur client est de type UIT 3

0011: l'oscillateur client est de couche UIT 3

0100: l'oscillateur client est un oscillateur minimal d'horloge DTI

0101-1111: champ réservé.

#### 7.4.3.3 Fanions de statut de client

Ce champ de 8 bits sert à envoyer le statut de client à un serveur. Les bits des fanions de statut de client DOIVENT être définis comme suit:

##### **Bits 6 & 7: réservés à usage futur**

##### **Bit 5:      *mode de pontage***

Ce bit, quand il est réglé à 1, indique que le client a perdu sa référence de rythme et essaye de maintenir une performance acceptable.

##### **Bit 4:      *mode de maintien***

Ce bit, quand il est réglé à 1, indique que le client a perdu sa référence de rythme et est en maintien.

##### **Bit 3:      *mode normal***

Ce bit, quand il est réglé à 1, indique que l'horloge est stable, s'est calée sur le rythme référence et est conforme à la norme de base de temps appropriée.

##### **Bit 2:      *mode rapide***

Ce bit, quand il est réglé à 1, indique que l'horloge est en train d'utiliser une constante de temps courte. Une constante de temps plus courte peut être utilisée dans le circuit d'horloge afin de réduire la durée de calage initial quand le client commence à se mettre en régime ou reçoit une référence pour la première fois.

##### **Bit 1:      *mode autonome***

Ce bit, quand il est réglé à 1, indique que le client est en fonctionnement à une fréquence de sortie qui n'a pas été influencée par un client ou serveur DTI.

##### **Bit 0:      *établissement du régime***

Ce bit, quand il est réglé à 1, indique que l'oscillateur client n'est pas encore stabilisé.

#### 7.4.3.4 Valeur d'entier du déphasage d'horloge client

Ce champ de 24 bits DOIT renvoyer un instantané du déphasage client. Cette valeur sera exprimée en unités de périodes d'horloge échantillonnées à 149,8 MHz et résidera dans les 16 bits de plus fort poids. Les 8 bits inférieurs du champ de 24 bits DOIVENT être bourrés avec des zéros et NE DOIVENT PAS être utilisés par le serveur DTI. La valeur DOIT être un nombre signé en complément à 2. Si le client DTI prend en charge un plus grand nombre de bits de résolution, ce

client DTI DOIT arrondir la valeur signalée au plus proche nombre entier de périodes d'horloge échantillonnées.

#### **7.4.3.5 Version d'interface DTI de client**

Ce champ de 10 bits DOIT signaler la version actuelle du protocole d'interface DTI prise en charge par le client, exprimée sous la forme d'un entier non signé. Dans la première édition, cette valeur DOIT être zéro.

#### **7.4.3.6 Champ réservé**

Les 68 bits restants DOIVENT être réservés à usage futur. Ils seront remplis de chiffres '1' jusqu'à définition contraire.

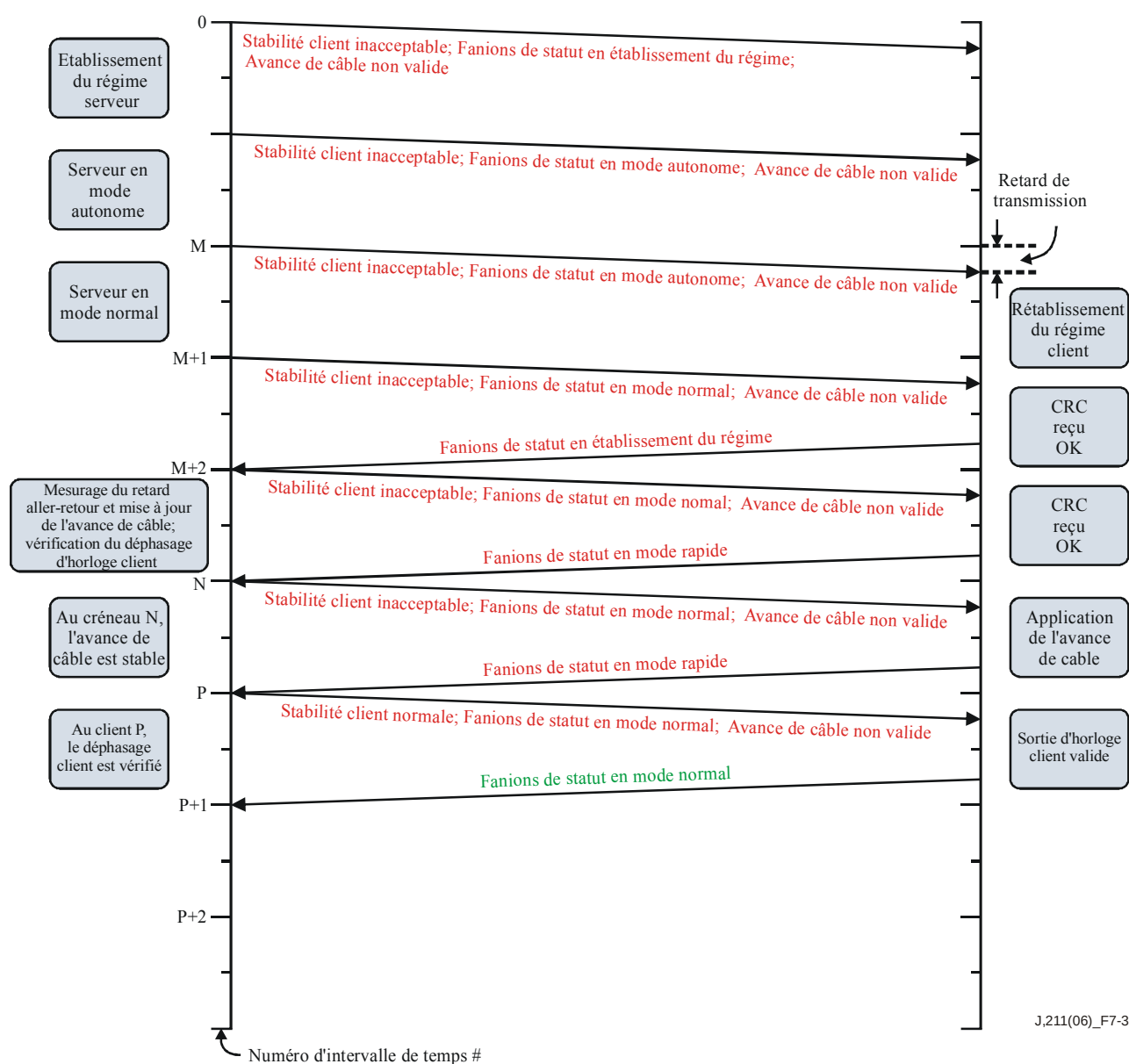
#### **7.4.3.7 CRC-16**

Ce champ de 16 bits DOIT contenir le contrôle de redondance cyclique CRC-16. Le générateur CRC-16 DOIT être initialisé avec des chiffres '1' pendant les bits de préambule. Après le dernier bit du préambule, les données de charge utile DOIVENT être décalées au moyen du code générateur CRC-16. Après le dernier bit de la charge utile, la sortie en série DOIT être commutée à partir du registre à décalage d'émission jusqu'à la sortie du générateur CRC-16 et 16 chiffres '1' supplémentaires DOIVENT être décalés au moyen du générateur afin d'extraire par décalage le CRC de 16 bits. Le polynôme générateur DOIT être:  $X^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ .

### **7.5 Interaction entre protocoles serveur et client DTI**

Le diagramme d'échange de protocoles (Figure 7-3) servira à illustrer la règle protocolaire fixée. Les exigences spécifiques relatives au fonctionnement de serveur et de client prenant en charge le protocole sont décrites dans le § 8.

L'échange commence avec aussi bien le serveur distant que le client inactifs (mis hors tension). La première étape est l'établissement du régime du serveur distant. Le principal sous-système nécessitant l'établissement du régime dans un serveur DTI est l'oscillateur local. Pendant l'établissement du régime, un serveur distant commence à transmettre des messages DTI, dans l'état indiqué d'établissement du régime. Le serveur distant va rester en phase d'établissement du régime jusqu'à ce que l'oscillateur soit stable et qu'un réglage stable d'heure légale soit acquis. Le serveur distant passe à l'état de mode autonome et demeure dans cet état jusqu'à ce qu'il soit calé sur une référence externe. La Figure 7-3 décrit la mise sous tension qui se produit du côté client pendant le créneau m. Le client n'émettra pas avant que la condition de perte de trame de réception ait été relevée (voir le § 8.2.3). Pendant l'intervalle M, le serveur DTI entre en condition normale comme représenté. La prochaine trame du serveur indique cette condition normale dans les fanions de statut du service. Noter que le client peut commencer le calage temporel en utilisant des trames valides du serveur dès que celui-ci est sorti de la phase d'établissement du régime, a effectué un réglage d'heure légale et a commencé à émettre activement. En supposant que le client ait établi le verrouillage des trames de réception et qu'il reçoive la trame actuelle avec un CRC valide, ce client répond par une trame client dans le créneau M+1. L'horloge client est censée être encore en phase d'établissement du régime, ce qui est reflété dans le verrouillage du fanion de statut client, réglé à *non valide*. Pendant l'intervalle de temps M+2, le serveur distant peut commencer à traiter la trame de client en mesurant le retard aller-retour, et à collecter les données métrologiques de déphasage d'horloge client renvoyées dans la trame de client.



**Figure 7-3 – Exemple de protocole DTI serveur-client**

Le serveur distant filtre les données de mesurage aller-retour afin d'établir une correction stable d'avance du câble qui ne dégradera pas la performance de rythme de l'horloge client. La Figure 7-3 décrit la réalisation par le serveur d'une avance de câble stable juste avant l'intervalle de temps P. Pendant l'intervalle de temps P, la trame émise par le serveur indique cette réalisation en réglant le fanion d'avance temporelle du câble sur la position *valide*. Pendant le même intervalle, l'horloge client est censée réaliser un verrouillage de phase local et le message client indique le mode rapide. Finalement, juste avant l'intervalle de temps P+1, le serveur distant a vérifié, au moyen des données de déphasage d'horloge client depuis l'intervalle M+1, que le client est en verrouillage de phase correct par rapport à l'horloge de référence et signale cela à P+1 en réglant à la valeur valide le fanion de condition de stabilité client.

## **8 Fonctionnement du client et du serveur DTI**

Voir au § 1.1 une description informative du protocole d'interface DTI.

### **8.1 Modes du serveur DTI**

Le serveur DTI peut prendre en charge trois modes d'exploitation:

- 1) mode principal autonome: aucune source externe n'est fournie afin de commander la précision en fréquence ou en temps;
- 2) mode traçable jusqu'au système GPS: la source de traçabilité en temps et en fréquence est le système GPS;
- 3) mode traçable jusqu'au réseau: une interface normalisée avec un réseau en hiérarchie PDH, SONET ou SDH sert à offrir la traçabilité jusqu'à une référence de fréquence de couche 1.

Dans un système M-CMTS, un déploiement dans lequel tous les éléments sont en traçabilité GPS commune n'est pas requis.

Le serveur DTI DOIT prendre en charge le mode autonome de l'horloge de référence. Dans ce mode, aucune source externe de traçabilité n'est requise.

Le serveur DTI PEUT prendre en charge le mode de fonctionnement traçable jusqu'au système GPS.

Le serveur DTI PEUT prendre en charge le mode de fonctionnement traçable jusqu'au réseau.

#### **8.1.1 Mode autonome principal**

Les exigences relatives au mode autonome de l'horloge de référence sont étroitement associées aux exigences actuelles de pointage temporel DOCSIS, avec inclusion d'une marge additionnelle afin de garantir que la performance en sortie de l'horloge de référence du client DTI répond à toutes les exigences.

Afin de prendre en charge la poursuite commune de tous les éléments en voie descendante y compris les clients DTI, le mode autonome principal DOIT limiter la pente de stabilisation de la fréquence de sortie à moins de  $10^{-9}$  sur une période de 10 s.

La précision de la fréquence de sortie en mode autonome principal DOIT être meilleure que  $1.10^{-6}$  dans un domaine de température de 0°C à 40°C jusqu'à 10 ans à partir de la date de construction.

La gigue de haute fréquence du serveur DTI (au-dessus de 10 Hz) en mode autonome principal DOIT être inférieure à 50 ps (val. eff.).

Le dérapage télémétrique du serveur DTI, observé au moyen du filtre de qualification du dérapage télémétrique<sup>4</sup>, DOIT être inférieur à 250 ps (val. eff.).

La performance de port à port du serveur DTI s'applique aux ports d'un unique serveur principal ou aux ports entre un serveur principal et un sous-serveur. Le dérapage télémétrique de port à port d'un serveur DTI, observé au moyen du filtre de qualification du dérapage télémétrique, DOIT être inférieur à 125 ps (val. eff.).

#### **8.1.2 Modes de référence externe**

##### **8.1.2.1 Exigences de performance en terme de synchronisme commun**

NOTE – Les exigences applicables à cet article ne s'appliquent pas en mode autonome principal.

---

<sup>4</sup> Le filtre de mesure du dérapage télémétrique est décrit dans l'Appendice IV.



#### 8.1.2.1.1 Performance en terme de maintien du serveur DTI

Afin de conserver la compatibilité avec la hiérarchie de synchronisation du service TDM, l'horloge du serveur DTI DOIT fonctionner avec la performance de maintien dans une des catégories spécifiées dans le Tableau 8-1. Ces catégories sont compatibles avec les normes directrices applicables aux services existants d'accès en TDM [UIT-T G.812] et avec la référence [T1.101].

**Tableau 8-1 – Exigences en terme de maintien du serveur DTI**

| Type UIT-T G.812                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Niveau de couche ANSI T1.101-1999 | Tolérance sur le vieillissement en maintien ( $\cdot 10^{-9}$ par jour) (Note 1) | Tolérance sur la température en maintien ( $\cdot 10^{-9}$ ) (Note 2) | Contribution totale au maintien sur 24 h (vieillissement et température) ( $\cdot 10^{-9}$ ) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Type I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | NA                                | 0,2                                                                              | 2,0                                                                   | 2,2                                                                                          |
| Type II                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Couche 2                          | NA                                                                               | NA                                                                    | 0,1                                                                                          |
| Type III                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Couche 3E                         | 1,0                                                                              | 10,0                                                                  | 11,0                                                                                         |
| NOTE 1 – Cette valeur représente l'excursion de fréquence moyenne provoquée par le vieillissement. Cette valeur est déduite des caractéristiques de vieillissement normales après 60 jours de fonctionnement continu. Il n'est pas prévu de mesurer cette valeur journellement, car l'effet de la température sera dominant. |                                   |                                                                                  |                                                                       |                                                                                              |
| NOTE 2 – Le domaine des températures ambiantes de fonctionnement est compris entre 0°C et 40°C avec une pente de variation maximale de 10 deg/h.                                                                                                                                                                             |                                   |                                                                                  |                                                                       |                                                                                              |

#### 8.1.2.1.2 Performance du serveur DTI en terme de pente de stabilisation

Le serveur DTI a besoin de contraindre la pente de stabilisation de phase pendant les 35 secondes de l'intervalle maximal de télémétrie du modèle DOCSIS: le serveur DTI DOIT maintenir la pente de stabilisation de phase à 5 ns au cours d'une période de 10 s de fonctionnement normal et acceptable.

#### 8.1.2.1.3 Performance du serveur DTI en terme de gigue de rythme

Le dérapage du rythme télémétrique du serveur DTI au cours d'une période de 35 secondes avec soustraction de la moyenne doit être attribué dans le cadre de l'exigence de 1 ns (val. eff.) relative à la gigue du rythme des éléments de code en exploitation synchrone comme analysé dans l'Appendice III. Deux serveurs copositionnés prenant en charge deux clients et les composants PHY associés doivent être considérés dans le budget global. Les exigences suivantes prennent en charge une contribution de 400 ps (val. eff.) prise sur la durée de 1 ns (val. eff.) imposée aux composants DTI:

- la gigue de haute fréquence du serveur DTI (au-dessus de 10 Hz) en mode autonome principal DOIT être inférieure à 50 ps (val. eff.);
- le dérapage télémétrique du serveur DTI, observé au moyen du filtre passe-bande du dérapage télémétrique, DOIT être inférieur à 250 ps (val. eff.);
- la performance de port à port du serveur DTI s'applique aux ports d'un unique serveur principal ou aux ports situés entre un serveur principal et un sous-serveur. Le dérapage télémétrique de port à port du serveur DTI, observé au moyen du filtre de qualification du dérapage télémétrique, DOIT être inférieur à 125 ps (val. eff.).

### 8.1.2.2 Mode traçable jusqu'au système GPS

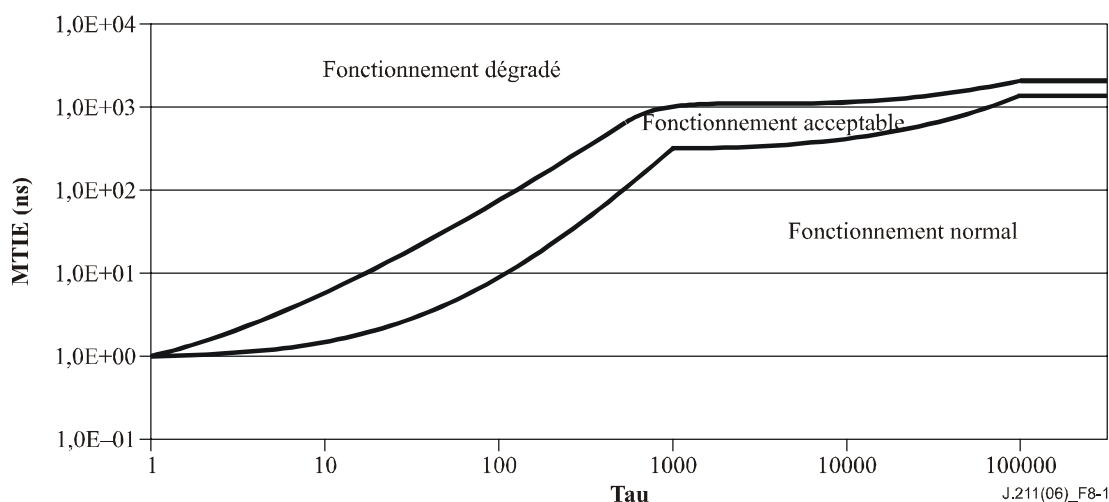
Le serveur DTI est tenu de prendre en charge aussi bien les exigences de rythme du système DOCSIS que les exigences en terme de rythme de synchronisation des services d'accès en TDM qui peuvent devoir être pris en charge. Dans l'architecture du système CMTS modulaire, les éléments d'interface DTI tels que les récepteurs de flux montants, les dispositifs EQAM et les cœurs de système M-CMTS peuvent être implantés dans différents nœuds ou bâtiments. Les serveurs DTI situés dans différents bâtiments DOIVENT fonctionner avec une cohérence suffisante de façon à prendre en charge toutes les fonctions relevant des domaines temporel et fréquentiel, en particulier la télémétrie, la gestion de latence et la synchronisation du service TDM lors de l'exploitation en mode GPS.

Le serveur DTI DOIT fonctionner dans le cadre des exigences d'intervalle temporel maximal spécifiées dans la Figure 8-1 en mode traçable jusqu'au système GPS. La Figure 8-1 définit trois niveaux de fonctionnement du serveur distant:

- 1) normal – c'est le niveau de performance anticipé dans l'environnement d'exploitation normal. Alors que le serveur distant devrait fonctionner conformément à toutes les exigences environnementales spécifiées par l'opérateur MSO, il est recommandé que le vendeur décrive les limites climatiques, comme les températures limites de stabilisation, qui sont associées au fonctionnement normal, terme qui n'inclut pas la perte de toutes les références externes;
- 2) acceptable – c'est le niveau de performance que le serveur distant DOIT satisfaire conformément à toutes les exigences environnementales spécifiées par l'opérateur MSO. Le serveur distant DOIT satisfaire ce niveau d'erreur MTIE pendant des périodes limitées d'indisponibilité des références d'entrée. Il est recommandé que le vendeur décrive les périodes d'indisponibilité qui peuvent être prises en charge;
- 3) dégradé – le serveur distant NE DOIT PAS passer au niveau de fonctionnement dégradé à moins qu'il n'y ait une indisponibilité de durée étendue au-delà de la limite spécifiée par le vendeur ou que les limites climatiques ne soient dépassées.

Par ailleurs, les conditions d'exploitation suivantes s'appliquent aux niveaux de service normal et acceptable:

- la pente maximale de stabilisation de la température ambiante est inférieure à 10 deg/h;
- s'il y a plus d'une seule entrée valide, une commutation de source de référence d'une entrée valide à une autre est considérée comme normale et acceptable;
- le serveur DTI n'est pas en train de fonctionner en mode d'établissement du régime ni en mode autonome;
- le serveur DTI est continuellement alimenté depuis au moins une heure.



| Limites de fonctionnement acceptable en terme d'erreur MTIE |                                                          |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Durée d'observation, $\tau$ (secondes)                      | Erreur MTIE (nanosecondes)                               |
| $0,1 \leq \tau < 1000$                                      | $0,5 + 0,5 * \tau + 0,00201 * \tau^2 - 1,51e-6 * \tau^3$ |
| $280 \leq \tau < 100\ 000$                                  | $0,01 * \tau + 1000$                                     |
| $100\ 000 \leq \tau < 500\ 000$                             | 2000                                                     |
| Limites de fonctionnement normal en terme d'erreur MTIE     |                                                          |
| Durée d'observation, $\tau$ (secondes)                      | Erreur MTIE (nanosecondes)                               |
| $0,1 \leq \tau < 1000$                                      | $0,95 + 0,05 * \tau + 0,00026 * \tau^2$                  |
| $1000 \leq \tau < 100\ 000$                                 | $0,01 * \tau + 300$                                      |
| $100\ 000 \leq \tau < 500\ 000$                             | 1290                                                     |

**Figure 8-1 – Exigences relatives à l'erreur MTIE sur le mode traçable jusqu'au système GPS**

Quand le serveur DTI traçable jusqu'au système GPS est tenu de fonctionner avec un second serveur distant traçable jusqu'au système GPS situé à un emplacement différent, l'erreur temporelle de l'horloge de référence du serveur DTI, en terme de référence de fréquence UTC<sup>5</sup> dans une fenêtre temporelle de 35 secondes avec soustraction de la moyenne, DOIT être inférieure à 300 ps (val. eff.) en conditions normales d'exploitation.

### 8.1.2.3 Mode traçable jusqu'au réseau

Le mode de fonctionnement par le réseau utilise la synchronisation qui est imbriquée dans la couche Physique et dans le verrouillage de trames des réseaux en hiérarchie PDH, SONET et SDH afin d'offrir la traçabilité en fréquence jusqu'à l'horloge de couche 1 du réseau. La traçabilité du synchronisme peut éventuellement être acheminée:

- par un signal DS1 de réseau numérique en hiérarchie plésiochrone (PDH, plesiochronous digital network), qui est un signal porteur de trafic traçable soit jusqu'à une horloge de couche 1 située dans le réseau de transport soit jusqu'à une source traçable dans une couche de l'équipement terminal distant. Les exigences en termes de dérapage et de gigue sont moins sévères que dans le mode à signal porteur de synchronisme décrit dans l'alinéa suivant. En outre, une interface avec signal porteur de trafic peut subir des phénomènes transitoires associés à des événements de réglage de pointeur SONET ou SDH;

<sup>5</sup> En pratique, une horloge de référence au césium ou équivalente peut servir à approcher une fréquence de référence du temps UTC.

- par un signal PDH porteur de synchronisme, qui est traçable jusqu'à une horloge de couche 1 d'un réseau de transport et qui est tenu de satisfaire de plus sévères limites de dérapage et de gigue;
- par un signal SONET/SDH signal issu d'un élément de réseau traçable. Les réseaux SONET/SDH sont tenus d'être synchrones et reçoivent le synchronisme traçable à partir d'un port de synchronisation situé sur l'équipement terminal. Le port de l'interface de synchronisation choisi peut prendre en charge un message de statut de synchronisation afin d'offrir un niveau de vérification.

Le mode de fonctionnement par le réseau NE DEVRAIT PAS utiliser de références fonctionnant aux limites de performance en terme de signal porteur de trafic qui sont spécifiées dans la référence [UIT-T G.824]. Les vendeurs PEUVENT prendre en charge le filtrage des signaux porteurs de trafic mais cette opération est hors du domaine d'application de la présente Recommandation.

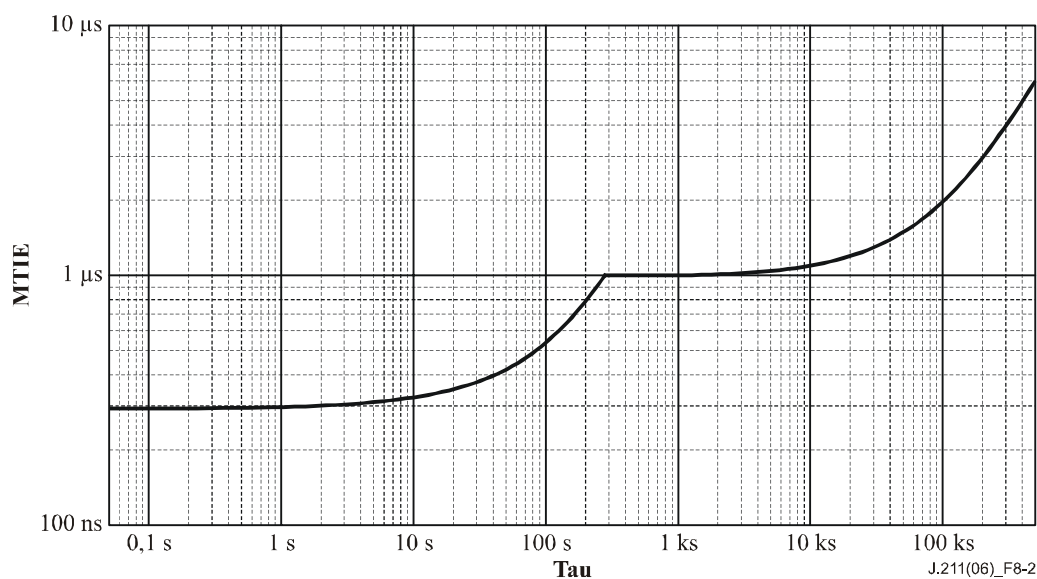
Le mode réseau fournit une synchronisation qui est précise en fréquence (débit) mais qui ne l'est pas dans le domaine temporel. Quand le signal est utilisé avec un rythme de filtre correctement conçu dans un serveur DTI, les signaux de rythme DTI en sortie prennent en charge toutes les exigences relatives aux systèmes M-CMTS quand tous les éléments DOCSIS sont copositionnés. Le mode réseau permettra également (comme le mode GPS) d'acheminer le synchronisme requis par les services commerciaux au débit T1.

Le serveur DTI DOIT satisfaire les exigences relatives à l'erreur MTIE et au synchronisme commun en sortie, en conditions aussi bien normales qu'acceptables en entrée (voir 8.1.2.3.1).

#### **8.1.2.3.1 Conditions normales et acceptables en entrée**

Les conditions normales et acceptables en entrée sont définies comme suit:

- la gigue maximale d'entrée est inférieure à 3,24 ms (de crête à crête) de 10 Hz à 40 kHz;
- le dérapage maximal d'entrée est limité au masque d'erreur MTIE décrit dans la Figure 8-2;
- la pente maximale de stabilisation de la température ambiante est inférieure à 10 deg/h;
- s'il y a plus d'une seule entrée valide, une commutation de source de référence d'une entrée valide à une autre est considérée comme normale et acceptable;
- le serveur DTI n'est pas en train de fonctionner en mode d'établissement du régime ni en mode autonome;
- le serveur DTI est continuellement alimenté depuis au moins une heure.

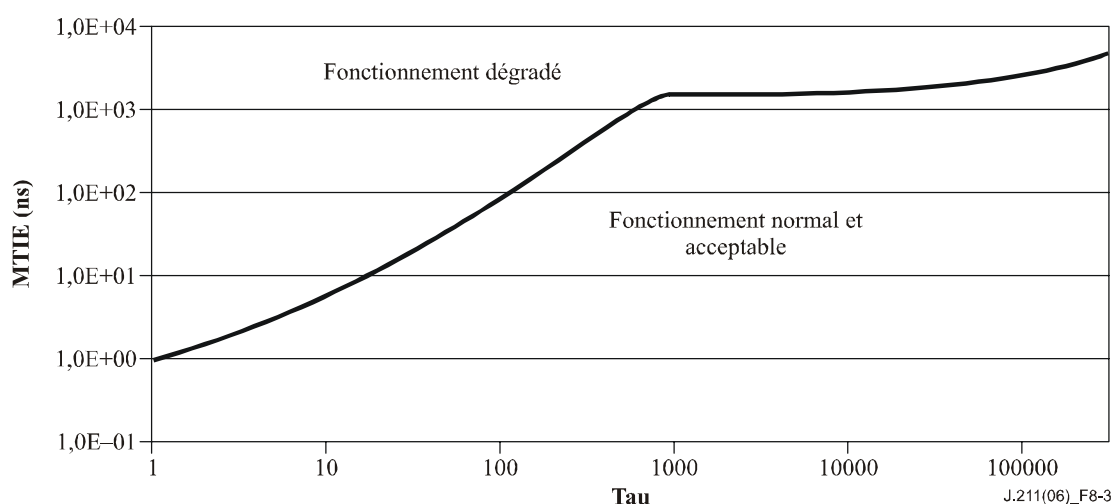


| Référence d'erreur MTIE sur le signal porteur du synchronisme en entrée |                            |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Durée d'observation, $\tau$ (secondes)                                  | Erreur MTIE (nanosecondes) |
| $0,1 \leq \tau < 280$                                                   | $2,5 * \tau + 300$         |
| $280 \leq \tau$                                                         | $0,01 * \tau + 997$        |

**Figure 8-2 – Exigences relatives à l'erreur MTIE sur l'entrée dans le réseau**

#### 8.1.2.3.2 Exigences relatives à la performance en terme d'erreur MTIE sur le mode traçable jusqu'au réseau

Le serveur DTI DOIT satisfaire les exigences de performance normale et acceptable en terme d'erreur MTIE, applicables à la Figure 8-3 dans les conditions d'entrée stipulées au § 8.1.2.3.1.



| Exigences de performance en terme d'erreur MTIE traçable jusqu'au réseau |                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Durée d'observation, $\tau$ (secondes)                                   | Erreur MTIE (nanosecondes)                               |
| $0,05 \leq \tau < 1000$                                                  | $0,5 + 0,5 * \tau + 0,00335 * \tau^2 - 2,35e-6 * \tau^3$ |
| $1000 \leq \tau$                                                         | $0,01 * \tau + 1490$                                     |

**Figure 8-3 – Exigences relatives à l'erreur MTIE sur le mode traçable jusqu'au réseau**

### 8.1.3 Exigences fonctionnelles relatives au serveur DTI

L'horloge du serveur distant DOIT prendre en charge le mode rapide d'horloge, le mode autonome d'horloge, le mode de maintien d'horloge et le mode normal d'horloge, comme défini dans la référence [T1.101].

Pendant l'établissement du régime, un serveur distant DOIT transmettre des messages DTI avec le fanion de performance client stable et le fanion d'avance temporelle du câble réglé à la valeur *faux*.

Le serveur DTI NE DOIT PAS sortir de l'établissement du régime avant d'avoir établi un réglage initial d'heure légale.

En attendant qu'une correction stable d'avance temporelle du câble soit établie, le serveur distant DOIT indiquer une avance du câble non valide dans les fanions de statut du serveur.

En condition normale d'exploitation avec une horloge client fonctionnant correctement et avec un taux d'erreur sur les bits (BER, *bit error ratio*) de transport de valeur normale ( $<10^{-8}$ ), le serveur distant DOIT établir une avance stable du câble dans un retard de 20 secondes à partir de la première réponse valide du client.

Le serveur DTI DOIT prendre en charge aussi bien le mode manuel que le mode automatique d'avance temporelle du câble.

Le mode d'avance de câble du serveur DTI DOIT être réglable port par port.

Quel que soit le mode d'avance du câble, le serveur DTI DOIT minimiser les modifications de la valeur d'avance temporelle du câble une fois que le fanion d'avance stable du câble est validé afin de garantir que toutes les exigences de performance du serveur DTI sont respectées.

En mode manuel d'avance du câble, la valeur de correction de l'avance temporelle du câble NE DOIT PAS être modifiée à moins que l'utilisateur ne demande une mise à jour. La transition du mode automatique au mode manuel DOIT geler la valeur actuelle d'avance du câble. La transition du mode manuel au mode automatique DOIT relancer le réglage automatique à partir de la valeur actuelle d'avance du câble.

En mode automatique d'avance du câble, le serveur DTI DOIT régler automatiquement l'avance temporelle du câble en fonction des variations lentes du retard de câble en conditions climatiques normales.

En mode automatique d'avance du câble et en condition de fonctionnement stable (fanion de statut d'avance du câble dans le serveur = 1), le taux de variation de l'avance du câble NE DOIT PAS être supérieur à 1 bit LSB du mot fractionnaire d'avance du câble (26 ps) par seconde.

Le serveur DTI PEUT offrir une option permettant de régler l'avance temporelle du câble à une valeur choisie par l'utilisateur en mode manuel d'avance du câble.

En cas de basculement d'un serveur DTI de trafic utile sur un serveur DTI de secours dans un alvéole commun, le signal de sortie d'interface DTI DOIT être actif dans un délai de 500 ms.

En condition normale d'exploitation avec une horloge client fonctionnant correctement avec un BER de transport normal ( $<10^{-8}$ ), un serveur DTI de secours qui vient de devenir actif DOIT établir une avance stable du câble dans un délai de 1000 ms à partir de la première réponse valide du client.

### 8.1.4 Mode de signal d'essai du serveur DTI

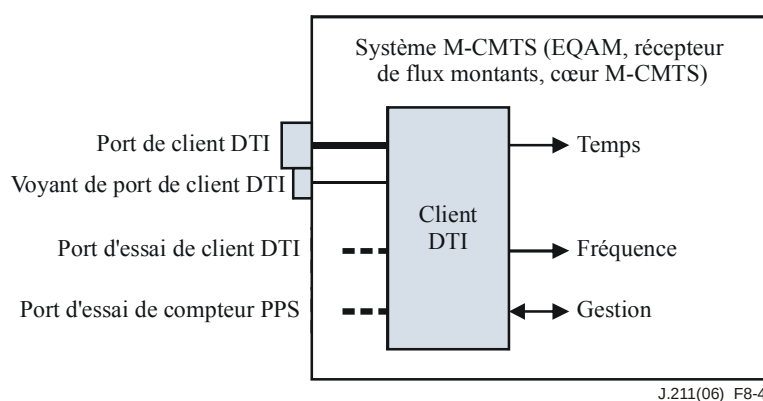
Le serveur DTI DOIT prendre en charge un mode d'essai pour chaque port de sortie du serveur. Le signal d'essai DOIT être un flux uniforme de chiffres 1 en série avant codage de Manchester. Le mesurage du déphasage nécessite la prise en compte du temps de propagation de groupe dans tous les éventuels éléments à chemin commun entre le connecteur du port de sortie et le point où les chemins d'émission et de réception se séparent dans le serveur. La mesure du déphasage devrait être rapportée à ce point de séparation entre émission et réception.

Le serveur DTI DOIT prendre en charge un port d'essai d'horloge de référence à 10,24 MHz. Ce port DOIT avoir une précision de phase inférieure à 2500 ps en comparaison des ports d'un serveur DTI normal. La gigue en sortie de port d'essai de l'horloge de référence DOIT être inférieure à 25 ps (val. eff.).

Le serveur DTI DOIT prendre en charge un port d'essai de base de temps des trames à 10 kHz. Ce port DOIT avoir une précision de phase inférieure à 2500 ps en comparaison des ports d'un serveur DTI normal. La gigue en sortie de port d'essai de la base de temps des trames de référence DOIT être inférieure à 50 ps (val. eff.).

## 8.2 Fonctionnement du client DTI

Le client DTI est situé dans un dispositif local de système M-CMTS tel qu'un dispositif EQAM, un récepteur de flux montants ou un cœur de système M-CMTS (voir la Figure 8-4). La fonction du client DTI consiste à être en interface avec le serveur DTI au moyen du protocole DTI et à offrir au dispositif M-CMTS des interfaces de temps, de fréquence et de gestion.



**Figure 8-4 – Interface entre client DTI et système**

Etant donné que le client DTI est susceptible d'être intégré dans le dispositif M-CMTS, les interfaces internes de temps, de fréquence et de gestion peuvent ne pas être normalisées et à ce titre ne sont pas définies par la présente Recommandation. Les exigences relatives au port d'essai, spécifiées ci-dessous, sont destinées à vérifier la performance des signaux opérationnels correspondants.

Dans une entité M-CMTS (p. ex. un cœur de système M-CMTS ou un EQAM), la différence entre le temps communiqué par la sortie du port d'essai de client DTI et la référence temporelle utilisée par une entité M-CMTS doit être minimisée et ne doit pas être supérieure à 1  $\mu$ s. Par exemple, les compteurs temporels contenus dans les messages SYNC transmis par un dispositif EQAM devrait refléter une base de temps qui diffère d'au plus 1  $\mu$ s du temps communiqué par la sortie du port d'essai de client DTI. Comme autre exemple, le récepteur de flux montants contenu dans le cœur de système CMTS devrait exécuter la télémétrie sur la base d'une référence temporelle qui ne diffère pas non plus de plus de 1  $\mu$ s par rapport au temps communiqué par la sortie du port d'essai de client DTI.

Les clients DTI résidant dans les dispositifs M-CMTS tels que les EQAM, les récepteurs de flux montants et les cœurs de système M-CMTS:

- DOIVENT offrir un port de client DTI;
- DOIVENT offrir un voyant de statut DTI;

- DOIVENT employer, dans le filtre de circuit à 3 dB unilatéral, une largeur de bande comprise dans l'étendue de 1 à 10 Hz afin de poursuivre le rythme du serveur DTI;
- DOIVENT prendre en charge une plage de capture capable d'effectuer un calage temporel sur un serveur fonctionnant correctement en conditions normales d'exploitation, comme spécifié dans le § 8.2.1, pendant une période de 10 ans à partir de la date de construction.

Les clients DTI résidant dans des dispositifs M-CMTS tels que des récepteurs de flux montants et des cœurs de système M-CMTS DOIVENT offrir un port d'essai de client DTI.

Les clients DTI résidant dans des dispositifs EQAM de système M-CMTS PEUVENT offrir un port d'essai de client DTI.

Les clients DTI résidant dans des dispositifs EQAM de système M-CMTS n'offrant aucun port d'essai de client DTI DOIVENT offrir un port d'essai de compteur PPS et prendre en charge la vérification du fonctionnement du client DTI conformément au § 6.

Etant donné que le port d'essai de client DTI et le port d'essai DTI de dispositif EQAM ne sont pas requis en fonctionnement normal, il peut être nécessaire de déposer des plaques ou enveloppes du dispositif M-CMTS afin d'accéder à ces ports.

Afin de prendre en charge les différences régionales en terme de fréquence d'horloge de référence du modèle DOCSIS, la présente Recommandation contient deux options de sortie d'horloge de référence de client DTI: celui-ci DOIT prendre en charge une des options suivantes de sortie d'horloge de référence:

- 1) 10,24 MHz;
- 2) 9,216 MHz.

Une fonction d'interfonctionnement des horloges est chargée de produire les signaux de sortie client et permet aux clients DTI prenant en charge l'une ou l'autre option de fréquence d'horloge de référence de fonctionner avec un serveur DTI commun et avec des protocoles de couche 1 et de couche 2 à l'interface DTI.

Dans l'option à 10,24 MHz, la fonction d'interfonctionnement des horloges produit une horloge de référence et un compteur DTS qui sont une réplique de l'horloge de référence et du compteur DTS du serveur DTI. La fonction d'interfonctionnement des horloges ne nécessite aucune conversion de la fréquence d'horloge de référence et du compteur DTS.

Dans l'option à 9,216 MHz, la fonction d'interfonctionnement des horloges produit une horloge de référence et un compteur DTS qui sont une conversion de l'horloge de référence et du compteur gpssec du serveur DTI. Quand l'option de fréquence d'horloge de référence à 9,216 MHz est utilisée, le client DOIT produire un compteur de 32 bits sur la base de l'horloge à 9,216 MHz et la relation suivante avec le compteur gpssec actuel:

$$\text{compteur DTS de client DTI à 9,216 MHz} = 2^{13} * [(1125 * (\text{gpssec mod } 2^{19})) \text{ mod } 2^{19}]$$

Un exemple des deux clients à 10,24 MHz et à 9,216 MHz est fourni dans l'Appendice II.

### 8.2.1 Conditions normales d'exploitation à l'interface DTI

Le client DTI DOIT satisfaire toutes les spécifications en conditions normales d'exploitation définies comme suit:

- le domaine de température ambiante est compris entre 0°C et 40°C;
- la pente maximale de stabilisation de la température ambiante est inférieure à 10 deg/h;
- le BER de transport DTI est inférieur à  $10^{-8}$ ;
- la longueur du câble est comprise entre 0 m et 200 m et fonctionne conformément au § 6.



### 8.2.2 Modes opérationnels de client DTI

Le client DTI DOIT prendre en charge et signaler les modes opérationnels décrits dans le Tableau 8-2.

**Tableau 8-2 – Etats opérationnels du client**

| Mode                    | Description                                                                                                                 |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Etablissement du régime | L'oscillateur ne s'est pas encore stabilisé.                                                                                |
| Mode autonome           | Le client n'a pas eu de source de rythme valide depuis sa réinitialisation, ou a dû abandonner l'acquisition.               |
| Rapide                  | Le client est en train d'utiliser une brève constante de temps d'acquisition de façon à réduire la durée de calage initial. |
| Normal                  | L'horloge est stable, s'est calée sur la référence de rythme et est entièrement conforme.                                   |
| Pontage                 | Le client a perdu sa référence de rythme mais essaye de maintenir une performance acceptable.                               |
| Maintien                | Le client a perdu sa référence de rythme mais essaie encore de conserver sa dernière fréquence valide.                      |

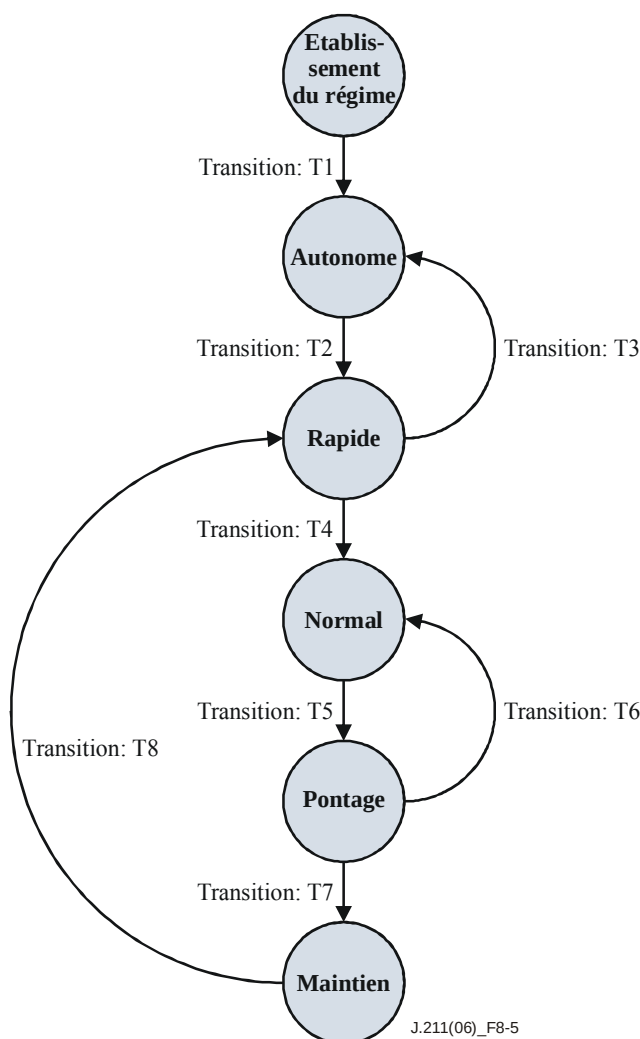
### 8.2.3 Diagramme de transition des modes de client DTI

Le client DTI DOIT implémenter une transition de mode similaire à celle qui est décrite dans le Tableau 8-3 et représentée dans la Figure 8-5.

**Tableau 8-3 – Transitions entre modes de client**

| Transition | De                      | A             | Condition de transition                                                                          | Commentaire                                                   |
|------------|-------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| T1         | Etablissement du régime | Mode autonome | Temporisation propre au vendeur.<br>(inférieure à 20 ms)                                         | Laisse un temps suffisant à l'oscillateur pour se stabiliser. |
| T2         | Mode autonome           | Rapide        | $FER \leq 0,02$ sur 50 ms                                                                        | Nombre suffisant de trames valides issues du serveur          |
| T3         | Rapide                  | Mode autonome | $FER \geq 0,05$ sur 50 ms                                                                        | Acquisition abandonnée                                        |
| T4         | Rapide                  | Normal        | $FER \leq 0,02$ sur 50 ms & 'Etat stable de la performance client' & 'Avance du câble' = TRUE    | Acquisition complète                                          |
| T5         | Normal                  | Pontage       | $FER \geq 0,5$ sur 50 ms                                                                         | Nombre insuffisant de trames valides issues du serveur        |
| T6         | Pontage                 | Normal        | ' $FER \leq 0,02$ sur 50 ms' & 'Etat stable de la performance client' & 'Avance du câble' = TRUE |                                                               |
| T7         | Pontage                 | Maintien      | 2 secondes de temporisation                                                                      |                                                               |
| T8         | Maintien                | Rapide        | $FER \leq 0,02$ sur 50 ms                                                                        | Nombre suffisant de trames issues du serveur                  |

Avec un serveur valide connecté et en conditions normales d'exploitation, le client DTI DOIT passer du mode AUTONOME au mode NORMAL dans un délai de 20 secondes.



**Figure 8-5 – Diagramme de transition entre modes de client**

#### 8.2.4 Exigences fonctionnelles

Le client NE DOIT PAS émettre au cours du mode d'établissement du régime, au cours du mode autonome ni au cours du mode de maintien. Le client NE DOIT PAS émettre si le plus récent CRC-16 reçu du serveur distant n'est pas valide: cela garantit qu'aucune émission ne se produit en périodes à taux d'erreur de trame (FER, *frame error rate*) élevé.

Afin de prendre en charge le mesurage téléométrique de l'avance temporelle du câble, la trame de client DOIT avoir une gigue inférieure à 15 ns (de crête à crête) en mode normal de client DTI.

#### 8.2.5 Port de client DTI

Le port de client DTI DOIT être une embase RJ45, avec brochage conforme au Tableau 8-4.

#### 8.2.6 Port d'essai de client DTI

Le port d'essai de client DTI DOIT offrir les signaux suivants:

- horloge à 10,24 MHz (100  $\Omega$  en signalisation différentielle à basse tension (LVDS));
- base de temps des trames à 10 kHz (50  $\Omega$  en logique TTL à basse tension (LVTTTL));
- données de trame DTI transmises en série (50  $\Omega$  en logique TTL à basse tension (LVTTTL)).

Le port d'essai de client DTI DOIT utiliser un connecteur enfichable de bus *Serial-ATA* à sept broches normalisé, comme le connecteur Molex SD-67800-005, avec le brochage suivant.

**Tableau 8-4 – Port d'essai de client DTI**

| Broche | Signal                                         |
|--------|------------------------------------------------|
| 1      | GND (masse)                                    |
| 2      | 10,24 MHz +                                    |
| 3      | 10,24 MHz –                                    |
| 4      | GND (masse)                                    |
| 5      | Base de temps des trames à 10 kHz              |
| 6      | Données transmises en série (client seulement) |
| 7      | GND (masse)                                    |

L'horloge à 10,24 MHz sera une version dupliquée de l'horloge de référence fournie par le client DTI. De grandes précautions devront être prises afin de minimiser son retard et de maximiser sa fidélité. Cette horloge servira aux mesurages de la gigue, du verrouillage de phase et du dérapage.

#### 8.2.7 Port d'essai d'horloge de client DTI

Le port d'essai d'horloge de client DTI DOIT satisfaire les exigences en terme de bruit de phase à double bande latérale présentées dans le Tableau 8-5, à l'intérieur des gammes de fréquence spécifiées<sup>6</sup>. L'horloge de client DTI PEUT offrir une performance renforcée en terme de bruit de phase, comme décrit dans l'Annexe A.

**Tableau 8-5 – Bruit de phase de client**

|                      | Bruit de phase à double bande latérale | Gigue                 |
|----------------------|----------------------------------------|-----------------------|
| De 10 Hz à 100 Hz    | < –53 dBc                              | <0,035 ns (val. eff.) |
| De 100 Hz à 1 kHz    | < –61 dBc                              | <0,014 ns (val. eff.) |
| De 1 kHz à 10 kHz    | < –53 dBc                              | <0,035 ns (val. eff.) |
| De 10 kHz à 5,12 MHz | < –53 dBc                              | <0,035 ns (val. eff.) |

Si le client DTI est dans le mode NORMAL ou PONTAGE, le port d'essai d'horloge de client DTI DOIT révéler un dérapage inférieur à 10 Hz avec un écart type inférieur à 270 ps par rapport à une horloge de port d'essai à 10,24 MHz fonctionnant correctement dans un serveur DTI principal .

Si le client DTI est en mode normal, alors l'horloge de port d'essai de client DTI DOIT maintenir une valeur absolue de verrouillage de phase de  $\pm 5$  ns avec un déphasage fixe inférieur à  $\pm 50$  ns et spécifié par le vendeur. Le mesurage est effectué par rapport à une horloge de port d'essai à 10,24 MHz fonctionnant correctement dans un serveur DTI principal sur toute la longueur du câble (comprise entre 0 m et 200 m).

<sup>6</sup> Ces valeurs de gigue sont de 3 dB plus sévères que les valeurs DOCSIS 2.0 correspondantes, afin de permettre des contributions indépendantes de la gigue issue de deux clients DTI pilotant respectivement le dispositif EQAM et le récepteur de flux montants.

### 8.2.7.1 Données de port d'essai de client DTI

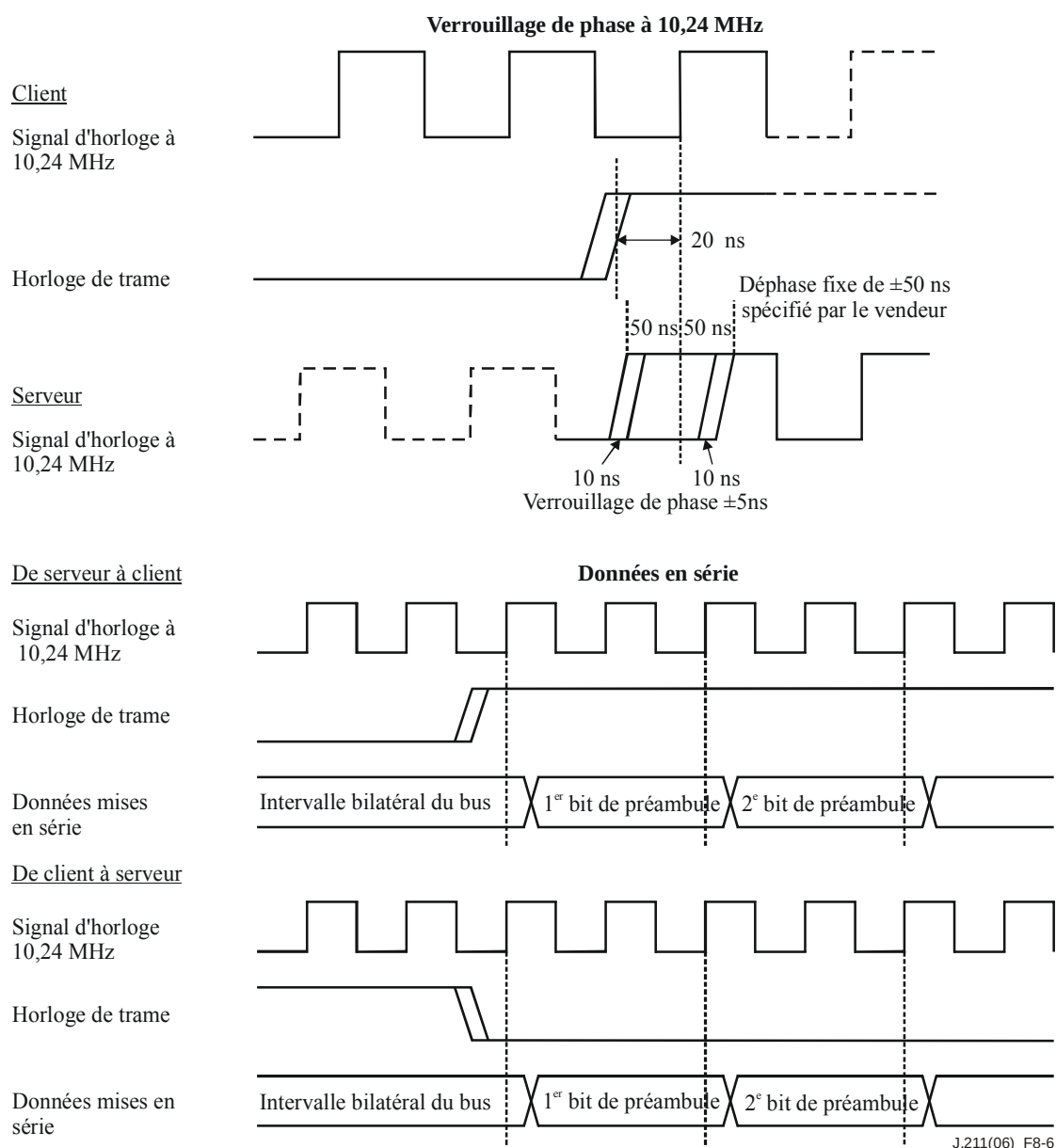
Les données de port d'essai de client DTI sont une version retardée des données de trame DTI à 5,12 Mbit/s. Les données présentes sur la ligne pendant la trame précédente  $N - 1$  sont mises en mémoire tampon et émises par le client pendant la trame  $N$  après vérification par le client du CRC reçu du serveur distant dans la trame  $N - 1$ . Si le CRC vérifié sur la trame  $N - 1$  est correct, la totalité de la trame DTI de 512 bits  $N - 1$  (préambule de serveur, charge utile de serveur, CRC de serveur, intervalle TGT1, préambule de client, charge utile de client, CRC de client et intervalle TGT2, comme illustré dans la Figure 7-1 c) et détaillé dans le § 7.4) DOIT être émise en série sur le port d'essai client pendant la trame  $N$ . Quand la vérification du CRC est correcte, le port d'essai client DOIT également émettre 22 zéros pendant chaque intervalle de sécurité bilatéral TGT1 et TGT2. Si la vérification du CRC reçu du serveur distant dans la trame  $N - 1$  échoue, le port d'essai client DOIT émettre une trame fictive composée de 512 chiffres 1 pendant la trame  $N$ . De toute façon, le port d'essai client émet toujours un train uniforme de données à un débit de 5,12 Mbit/s. Les données DOIVENT être pointées temporellement en sortie au demi-débit de l'horloge à 10,24 MHz, où chaque bit correspond à deux périodes d'horloge à 10,24 MHz et où la base de temps des trames du port d'essai identifie aussi bien le début des données de trame que le verrouillage binaire de ces données par rapport à l'horloge à 10,24 MHz. Le verrouillage de la base de temps des trames et des données d'essai est décrit plus en détail dans le paragraphe suivant.

### 8.2.7.2 Base de temps des trames au port d'essai DTI

La base de temps des trames à 10 kHz sert à verrouiller en trames, aussi bien les données transmises en série que l'impulsion d'horloge à 10,24 MHz pour les mesurages de verrouillage de phase. Son flanc de croissance a une double fonction: il identifie le premier bit du préambule de trame dans le sens serveur-client et il identifie l'impulsion de période d'horloge à 10,24 MHz mesurée par plan ATP, qui est verrouillée en phase sur la sortie du serveur DTI au cours du plan ATP. Le flanc de décroissance de la base de temps des trames identifie le premier bit du préambule de trame dans le sens client-serveur.

Aussi bien la base de temps des trames que les données transmises en série DOIVENT maintenir un temps d'établissement minimal de 20 ns et un temps de maintien minimal de 0 ns par rapport à l'horloge à 10,24 MHz.

Un chronogramme décrivant la base de temps des trames et sa relation avec l'horloge à 10,24 MHz et avec les données transmises en série est représenté par la Figure 8-6.



**Figure 8-6 – Chronogramme d'un port d'essai**

### 8.2.8 Essais en variante d'interface DTI de dispositif EQAM

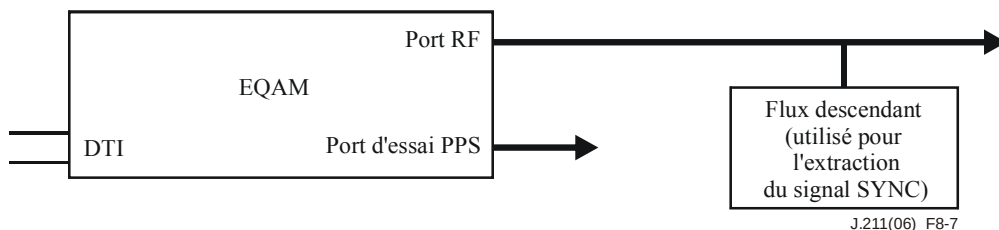
Les dispositifs EQAM PEUVENT utiliser leur port d'interface RFI dans le cadre d'un port d'essai de compteur PPS au lieu de leur port d'essai client DTI pour essais par plan ATP à l'interface DTI. Les mesurages du bruit de phase intégré à la fréquence de modulation en voie descendante sont effectués directement sur le port d'interface RF au lieu des mesurages de la gigue de l'horloge de référence DTI. Les messages SYNC sont observés sur le port d'interface RF afin de vérifier Le synchronisme des compteurs DTS. Un connecteur de port d'essai de compteur PPS DOIT être disponible aux fins des essais de conformité.

Le connecteur du port d'essai de compteur PPS PEUT être normalement accessible de l'extérieur. Dans ce cas, le connecteur du port d'essai de compteur PPS DOIT être une embase de type BNC 50  $\Omega$ .

Le connecteur du port d'essai de compteur PPS PEUT ne pas être normalement accessible de l'extérieur et n'être fourni qu'aux fins des essais de conformité. Dans ce cas, le connecteur du port d'essai de compteur PPS DOIT être un connecteur mâle assemblé sur câble de type BNC 50  $\Omega$  et le câble qui connecte le connecteur du port d'essai de compteur PPS au client DTI DOIT avoir une

longueur inférieure à 1 m. La méthode de couplage de ce câble au client DTI est laissée à la discrétion du vendeur.

La Figure 8-7 montre cette variante de montage d'essai.



**Figure 8-7 – Option de port d'essai de dispositif EQAM**

Le port d'essai de compteur PPS sert un double objectif: il identifie le compteur temporel du compteur gpssec et fournit une référence temporelle de phase afin de faciliter le mesurage de verrouillage de phase par télémétrie DTI dans les deux sens, par rapport à un serveur DTI. Si le client DTI est en mode normal, alors le flanc actif du compteur PPS DOIT maintenir un verrouillage de phase absolu de  $\pm 5$  ns crête par rapport à la sortie du port d'essai de l'horloge de référence du serveur, avec un déphasage fixe spécifié par le vendeur pouvant atteindre  $\pm 50$  ns.

#### 8.2.9 Voyants de statut d'interface DTI

Les voyants de statut d'interface DTI DOIVENT être soit un voyant bicolore unique vert/jaune ou un ensemble de deux voyants: un vert et un jaune.

Les voyants de statut d'interface DTI DOIVENT être visibles de l'extérieur et être intégrés dans le connecteur de port de client DTI ou en être très proches.

Les voyants de statut d'interface DTI DOIVENT refléter le statut du client DTI comme décrit dans le Tableau 8-6.

**Tableau 8-6 – Voyants de statut d'interface DTI**

| Voyants de statut d'interface DTI | Mode de client DTI                                 |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------|
| Hors tension                      | Etablissement du régime, mode autonome ou maintien |
| Jaune                             | Rapide                                             |
| Vert                              | Normal ou pontage                                  |

### 8.3 Stratégies de repli lors de la distribution des signaux d'interface DTI

La Figure 8-8 montre plusieurs niveaux de protection qui peuvent être configurés afin d'établir divers degrés de confiance opérationnelle dans le réseau de distribution du rythme.

Le serveur DTI fournit les connexions point à point aux clients DTI. Chaque liaison avec l'interface DTI (ou connexion de serveur à client) est extraite du serveur au moyen d'un fond de panier passif où les connexions physiques sont matérialisées. Le serveur distant peut être configuré de façon à offrir à chacune de ces connexions un secours par cartes de protection gérées par le serveur. La protection est représentée sur l'alvéole A mais non sur l'alvéole B. Avec des cartes de protection, si une carte active s'arrête, la carte de protection associée assure en transparence l'uniformité de la fonction.

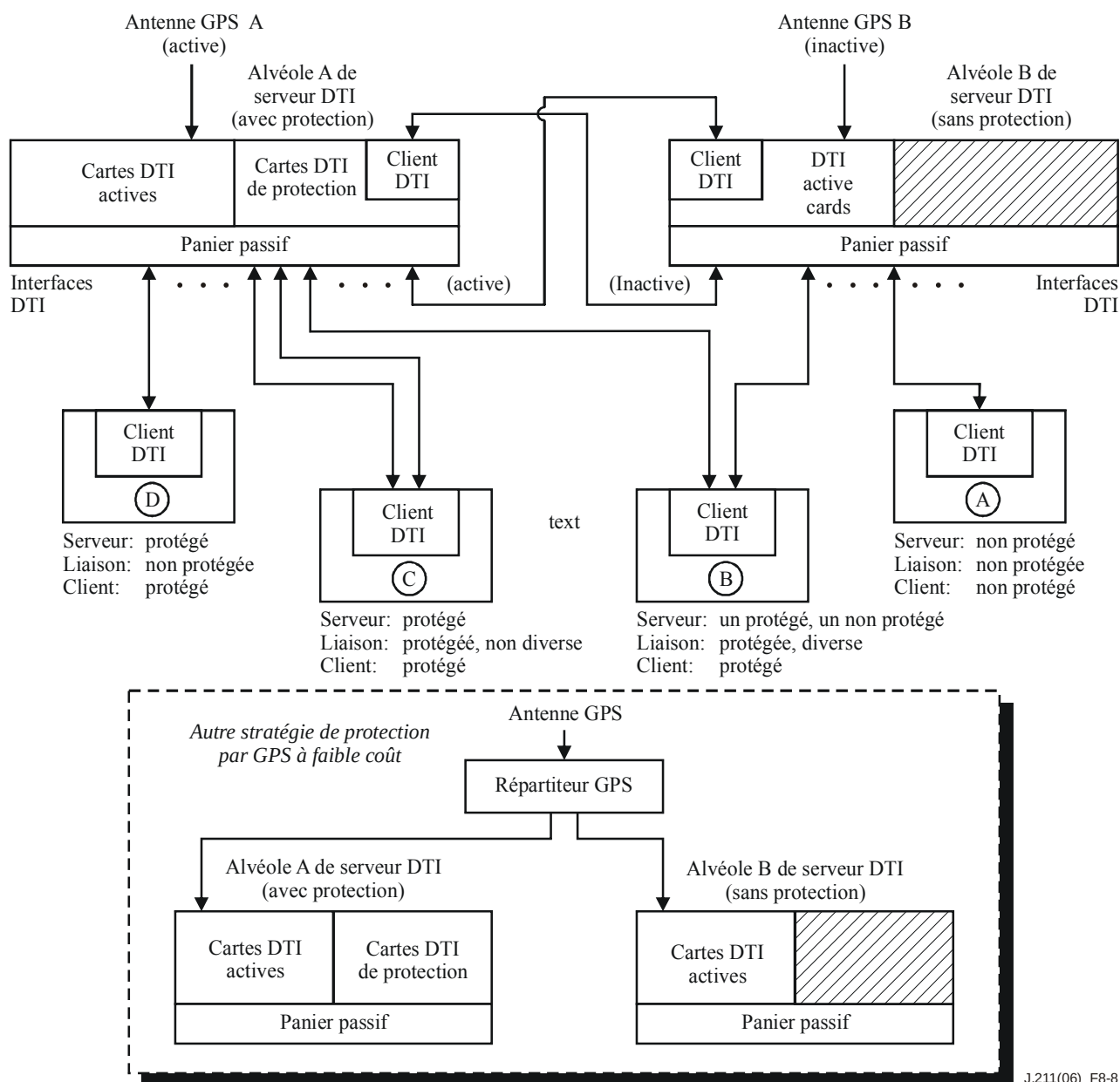


Figure 8-8 – Stratégies de repli lors de la distribution des signaux d'interface DTI

La Figure 8-8 montre également plusieurs niveaux de configuration de repli chez un client DTI:

- le client DTI A décrit le repli minimal. Un serveur non protégé possède une unique connexion à un client;
- le client DTI D décrit une implémentation de repli plus robuste. Comme avec le client A, le client D accepte une unique connexion DTI, mais dans ce cas un serveur protégé la fournit;
- le client DTI C décrit une implémentation de repli plus robuste. Ici le client accepte deux connexions DTI, permettant un fonctionnement normal en cas de défaillance sur l'une ou l'autre liaison;
- le client DTI B décrit une implémentation de repli plus robuste. Le client B a les deux mêmes connexions DTI que le client C, mais dans cette implémentation les liaisons elles-mêmes sont issues de divers serveurs, ce qui réduit la probabilité de panne simultanée (vue par le serveur) des deux liaisons.

De multiples interconnexions de serveur DTI sont également représentées dans la Figure 8-8. Afin de garantir la meilleure cohérence (verrouillage global de toutes les bases de temps dans le réseau de distribution du rythme), la méthode préférée consiste à avoir une unique référence pilotant le réseau<sup>7</sup>. Cette référence est représentée dans la figure par l'antenne GPS A, qui est activement utilisée par l'alvéole A du serveur DTI. Noter qu'une liaison avec l'interface DTI est représentée comme étant active entre l'alvéole A du serveur et l'alvéole B du serveur. Cette dernière utilise comme référence une interface normalisée avec un client DTI (comme tout client le souhaiterait sans doute).

En fonctionnement normal, l'alvéole B du serveur est essentiellement "asservi" à l'alvéole A du serveur. En cas de repli sur l'alvéole A du serveur, p. ex. en cas de perte de verrouillage GPS par l'antenne A, l'alvéole B du serveur peut devenir l'alvéole pilote, au moyen de l'antenne GPS B (qui deviendrait alors active). Les alvéoles de serveur A et B joueraient alors des rôles inverses, de sorte que A serait désormais piloté par B au moyen de la liaison avec l'interface DTI allant de l'alvéole B (étiqueté "inactif") au client DTI représenté dans l'alvéole A du serveur.

Concernant le repli GPS en général, la Figure 8-8 montre chacun des alvéoles de serveur connectés en mode GPS à partir d'une antenne différente, qui fournit la protection par repli au cas où son antenne individuelle (ou son câblage) deviendrait défectueuse. Le bas de la Figure 8-8 montre une variante de coût inférieur où une unique antenne GPS est partagée entre les alvéoles de serveur par un répartiteur. Evidemment, la redondance d'antenne et de câble est perdue, mais cette méthode assure toujours la disponibilité d'une référence de qualité GPS par rapport au réseau de synchronisation en cas de défaillance d'un seul alvéole de serveur DTI.

---

<sup>7</sup> En variante, quand il n'y a aucune nécessité de traçabilité externe, le serveur DTI principal peut être en mode autonome sans aucune référence externe.



## Annexe A

### Filtre de qualification du dérapage téléométrique

(Cette annexe fait partie intégrante de la présente Recommandation)

La présente annexe spécifie un montage ou méthode d'essai qui permet de mesurer la performance du serveur qui affecte le dérapage entre deux clients DTI, dû à la poursuite du serveur par le client. Contrairement à un système CMTS où le récepteur de flux montants et le dispositif EQAM en voie descendante partagent un châssis commun ainsi qu'un dérapage négligeable associé à l'horloge de référence, un système modulaire introduit des composantes réparties et nécessite un budget d'affectation de dérapage téléométrique afin de tenir compte de limites pratiques. La spécification applicable conformément à [UIT-T J.122] est citée ci-dessous à titre de référence:

#### A.1 Gigue de synchronisation des éléments de code en exploitation synchrone

En mode S-CDMA, l'erreur de rythme de l'horloge des éléments de code en voie montante (l'erreur moyenne ayant été soustraite) par rapport à l'horloge de référence du système CMTS DOIT être inférieure à 0,005 (val. eff.) de la durée d'un élément de code dans un intervalle de mesure de 35 secondes.

Noter que  $0,005 \text{ élément de code} / 5,12 \text{ MHz} = 1,0 \text{ ns}$  (val. eff.). Les Figures A.1 et A.2 décrivent cette spécification de base de temps du système DOCSIS.

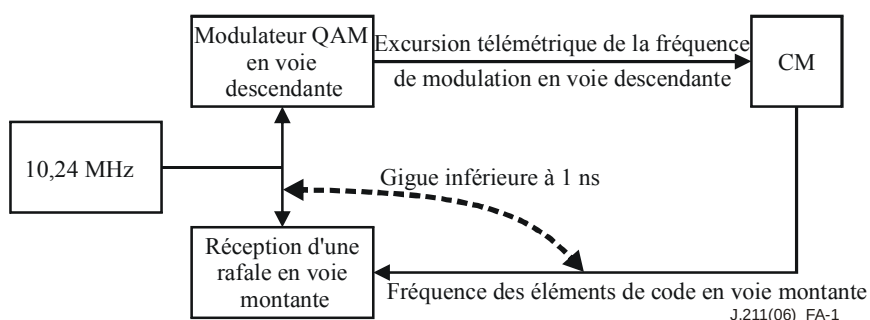


Figure A.1 – Implémentation d'un système CMTS non modulaire actuel

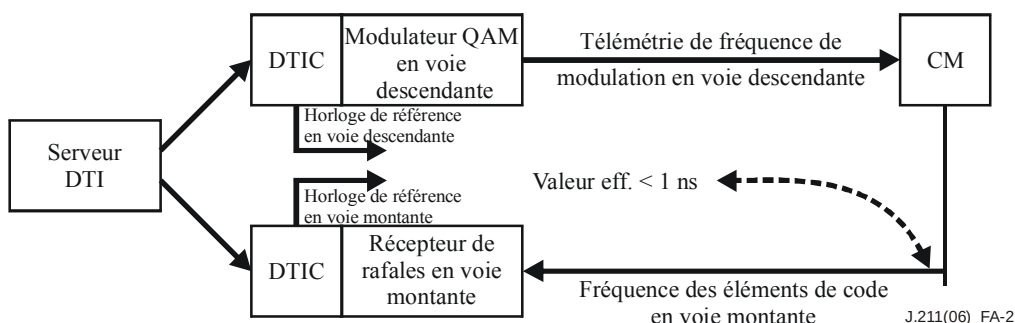


Figure A.2 – Implémentation d'un nouveau système CMTS modulaire

Comme on peut le voir dans la Figure A.2, la variation temporelle entre la version avec modulateur QAM en voie descendante de l'horloge de référence et la version avec récepteur de rafales en voie montante de l'horloge de référence va contribuer à l'exigence globale du système de 1 ns (val. eff.). Le nouveau budget proposé vise à minimiser cet effet tout en conservant des contraintes économiques concrètes. Le budget de 1 ns (val. eff.) est subdivisé en une composante de 916 ps

(val. eff.) attribuée aux processus télémétriques existant dans le câblomodem et en une affectation de 400 ps (val. eff.) aux effets associés à l'interface DTI. Cette affectation à l'interface DTI est elle-même répartie en sous-budgets comme suit:

- 1) port de serveur DTI : 250 ps (val. eff.) de dérapage télémétrique;
- 2) port de sous-serveur : 125 ps (val. eff.) de dérapage additionnel;
- 3) oscillateur local d'horloge client: 100 ps (val. eff.) de dérapage additionnel.

Bien qu'une partie du dérapage soit en mode commun entre les deux clients, le pire cas limite consiste à supposer que chaque horloge client aura une variation suffisante des paramètres de circuit (largeur de bande et facteur d'amortissement) pour que le dérapage ne soit pas corrélé entre les deux clients. L'implémentation par le vendeur et le vieillissement des composants (gain de diode à capacité variable) peuvent contribuer à cet effet.

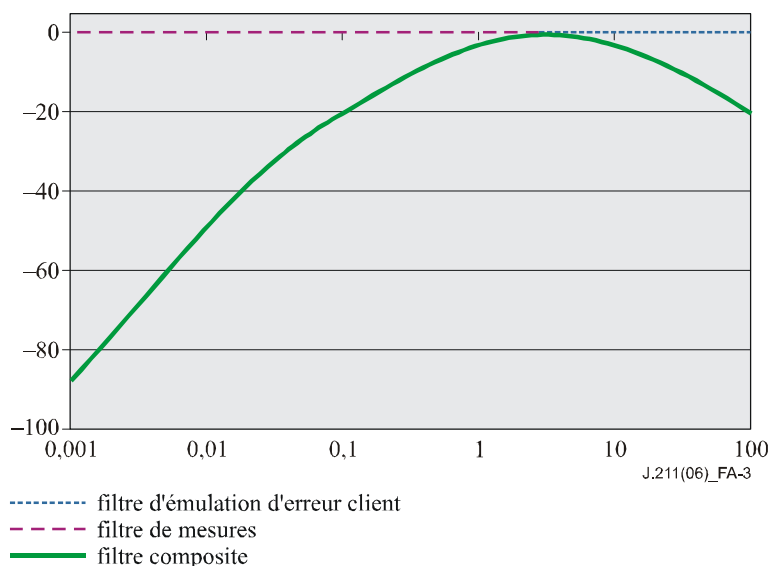
Afin de déterminer le niveau de bruit dû au dérapage télémétrique introduit par un serveur DTI, le problème critique est la mesure dans laquelle une horloge client peut poursuivre le serveur. Le modèle de poursuite par le client suggère un filtre passe-bande comme suit:

- 1) un filtre passe-bas de mesures afin de mettre en évidence la capacité du client à filtrer le bruit à haute fréquence du serveur distant;
- 2) un filtre passe-haut de signaux d'erreur afin de mettre en évidence la capacité du client à poursuivre les variations temporelles à basse fréquence du serveur distant.

Le filtre de télémétrie globale associe ces deux composants afin d'effectuer un filtrage passe-bande.

Le filtre de gigue est limité par la capacité d'un client en terme de filtrage minimal de gigue. La largeur maximale de bande est de 10 Hz et l'on part du principe que le filtre est à pôle unique (pente de 20 dB/décade).

Le filtre de poursuite (suiveur) est limité par la tolérance minimale de 1 Hz en largeur de bande et suppose un facteur d'amortissement de 3 et un asservissement PLL de type II. Ce filtre passe-haut va affaiblir les composantes à basse fréquence avec une pente de décroissance de 40 dB/décade. La combinaison de ces deux filtres offre la performance décrite par la Figure A.3.



**Figure A.3 – Filtre d'essai de dérapage télémétrique**

Le filtre de qualification du dérapage télémétrique  $R(S)$  est défini comme suit:

$$R(S) = E(S)M(S)$$

où  $E(S)$  est le filtre passe-haut de poursuite et où  $M(S)$  est le filtre passe-bas de gigue.

$$E(S) = S^2 / (S^2 + 5,934 S + 0,9784)$$

$$M(S) = 1 / [1 + (1 / (2\pi * 10 \text{ Hz}) S)]$$

Dans le cas particulier où le dispositif EQAM et les récepteurs de flux montants DOCSIS ne sont pas copositionnés, il y a une affectation additionnelle de 300 ps (val. eff.) à chaque serveur principal afin de tenir compte du déphasage dans un intervalle maximal de télémétrie de 35 secondes. En d'autres termes, chaque serveur principal est autorisé à un dérapage de 300 ps (val. eff.) par rapport à la fréquence UTC (avec moyenne supprimée). Les serveurs DTI seront tenus d'être traçables jusqu'au système GPS dans les deux configurations spatiales afin d'obtenir ce niveau de cohérence en terme de phase.

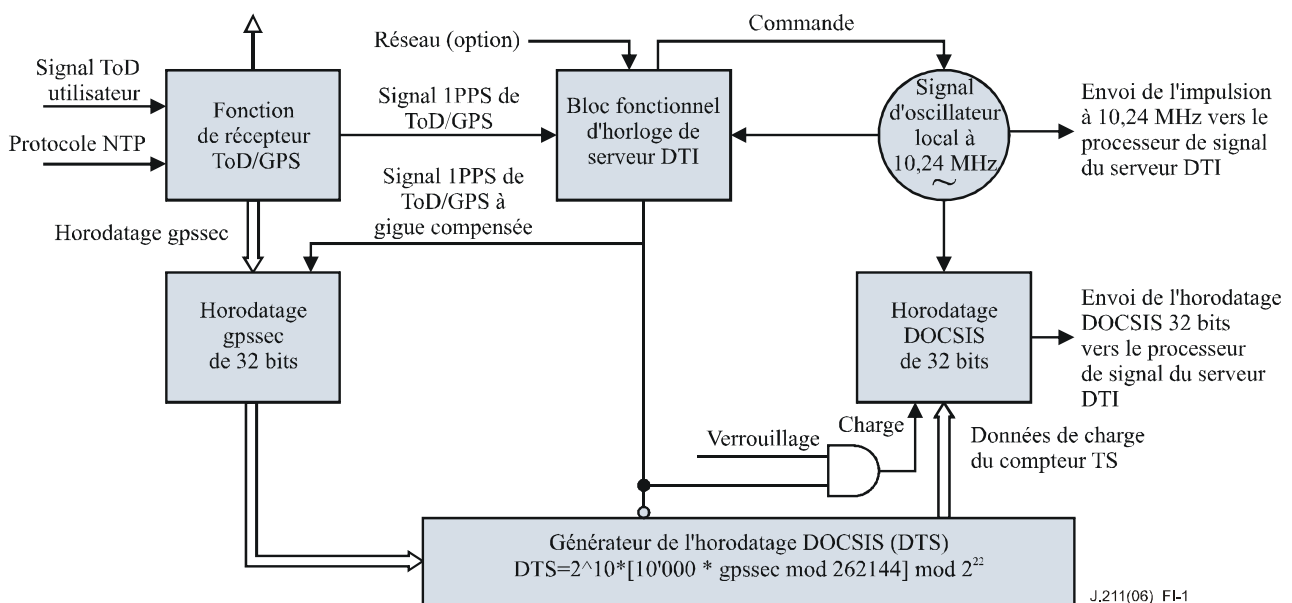
## Appendice I

### Description fonctionnelle du serveur DTI

(Cet appendice ne fait pas partie intégrante de la présente Recommandation)

Cet appendice fournit des informations complémentaires afin de faciliter le développement de serveurs DTI conformes.

La Figure I.1 décrit un schéma fonctionnel de référence montrant la fonction de traitement de signal dans un serveur distant par rapport à des références externes. Les vendeurs ont la possibilité d'implémenter une autre architecture interne du moment que toutes les exigences applicables aux serveurs DTI sont respectées. La relation entre l'échelle temporelle du compteur gpssec et le compteur DTI est analysée en détail dans le § 7.2. Cet appendice examine une méthode permettant de prendre en charge ces exigences.

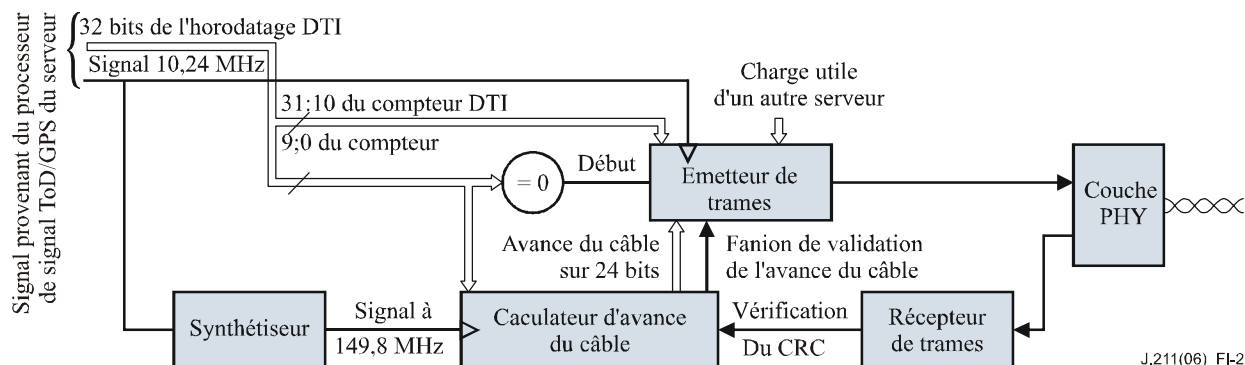


**Figure I.1 – Traitement du signal TOD/GPS/Réseau dans un serveur DTI – Schéma fonctionnel de référence**

Le bloc fonctionnel central dans un serveur distant est l'horloge du serveur DTI. La fonction principale de l'horloge de serveur DTI consiste à commander l'horloge de référence à 10,24 MHz et un top de rythme précis (désigné dans le schéma par le terme de *signal 1PPS à gigue compensée*) sur la base d'un mesurage d'erreur par rapport à l'entrée externe. Celle-ci peut être soit un signal GPS ou une référence fournie par le réseau. Le serveur distant prend en charge une fonction permettant de verrouiller le compteur temporel DOCSIS sur l'échelle temporelle GPS (ou sur une estimation fournie extérieurement de l'heure GPS). Le bloc fonctionnel du compteur temporel DOCSIS décrit cette opération. Le générateur calcule le prochain compteur temporel DOCSIS sur la base de la valeur actuelle du compteur gpssec. Si la commande de verrouillage est validée, cette valeur est chargée en synchronisme avec le signal 1 PPS à gigue compensée d'heure ToD/GPS. La sortie du signal 1PPS d'heure ToD/GPS est maintenue en étroite cohérence avec l'horloge à 10,24 MHz afin de permettre un verrouillage synchrone du compteur temporel DOCSIS au cours d'une même période de l'horloge de référence.

## I.1 Traitement de signal dans un serveur DTI

Un schéma fonctionnel du processeur de signal dans un serveur DTI est représenté ci-dessous dans la Figure I.2.



**Figure I.2 – Traitement de signal dans un serveur DTI – schéma fonctionnel de référence**

Le processeur de signal contenu dans un serveur DTI produit le signal de rythme de l'interface DTI, reçoit la réponse du client, calcule le temps de propagation dans les deux sens du câble et le renvoie au client sous la forme d'une valeur d'avance du câble. Le processeur de signal dans un serveur DTI reçoit (du processeur de signal ToD/GPS/référence externe) une horloge à 10,24 MHz et le compteur temporel DOCSIS de 32 bits. Les 10 bits inférieurs du compteur temporel DOCSIS forment le compteur binaire proprement dit de la trame DTI et seront désignés dans l'explication ci-dessous par le terme de "*compteur binaire*". La trame DTI est lancée quand le compteur binaire est à zéro. Le signal de rythme de l'interface DTI est pointé temporellement en sortie au moyen de l'horloge à 10,24 MHz (2 impulsions d'horloge par symbole de Manchester). L'émetteur de trames DTI va adjoindre le préambule de 68 bits au début de la trame et un CRC de 16 bits à la fin.

Le client recevra le signal de rythme de l'interface DTI et y répondra quand son compteur de trames sera à 512. Le récepteur de trames du serveur DTI recevra la réponse du client et émettra le fanion de validation de CRC après avoir reçu le 16<sup>e</sup> bit du CRC.

Un circuit de mesurage du retard de câble mesure le retard du fanion de confirmation du CRC qui a été reçu, par rapport au moment où il a semblé qu'il était égal à zéro. Le processus de mesurage peut être lancé quand le compteur DTI à 10,24 MHz arrive à  $746^8$  modulo 1024. Théoriquement, si le temps de propagation aller-retour dans le câble est égal à zéro, le dernier bit du CRC revenant du client arrive à la valeur de 746 dans le compteur du serveur distant. Le fanion CRC\_OK reçu termine le processus de mesurage, ce qui produit une valeur brute de retard du câble qui est mise à jour à la fréquence de 10 kHz. Cette valeur brute de retard du câble possède une résolution d'une seule période d'horloge à 149,8 MHz.

Un filtre de retard du câble traite ensuite la sortie du circuit de mesurage. Le processus de filtrage supprime toutes les éventuelles valeurs transitoires et intègre la valeur de retard. Le processus d'intégration produira également la valeur fractionnaire du retard.

La valeur d'avance du câble sur 24 bits est déduite par division par 2 du retard du câble.

<sup>8</sup>  $746 = 512 + 234$ .

## Appendice II

### Description fonctionnelle du client DTI

(Cet appendice ne fait pas partie intégrante de la présente Recommandation)

Cet appendice fournit des informations complémentaires afin de faciliter le développement de clients DTI conformes.

#### II.1 Schéma fonctionnel du client DTI

Le schéma fonctionnel représenté ci-dessous dans la Figure II.1 montre le train de données du traitement de signal par un client DTI.

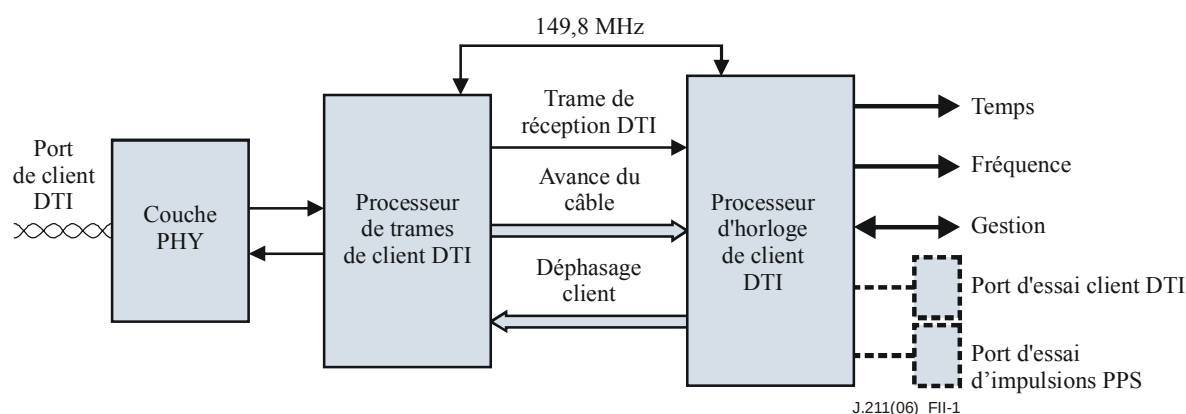
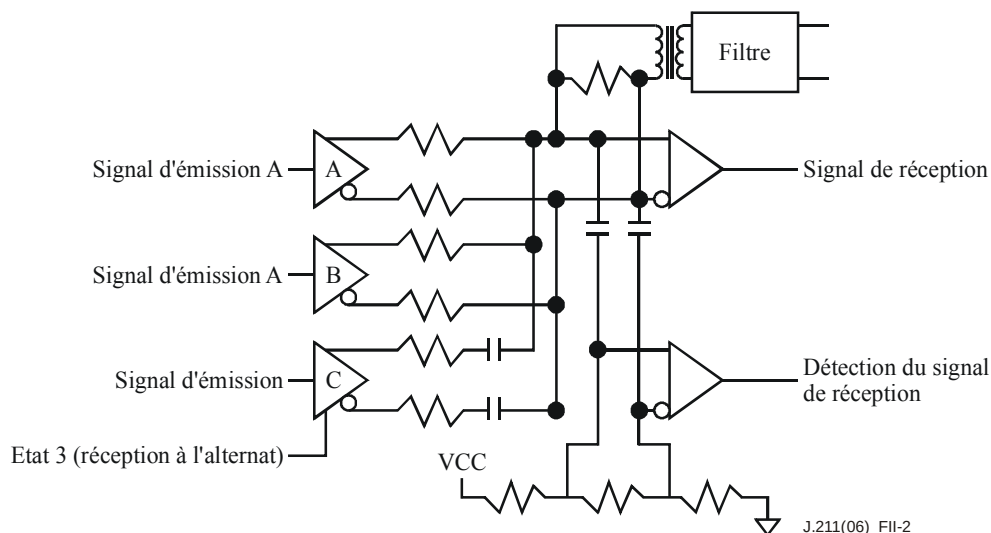


Figure II.1 – Schéma fonctionnel du client DTI

#### II.2 Couche PHY de client DTI

Le signal à l'alternat du rythme DTI est transmis au moyen d'un filtre d'interface EMI afin de garantir la conformité à cette interface et ainsi de minimiser la sensibilité aux perturbations électromagnétiques. Ce signal traverse ensuite un transformateur afin de bloquer le bruit en mode commun sur le signal de rythme DTI. Lors de la réception du signal DTI, le coupleur A est fixé à '1', le coupleur B est fixé à '0' et le coupleur C est réglé à une haute impédance de façon à offrir une charge terminale de 100  $\Omega$  polarisée en son point milieu. Le signal de réception est prélevé à son passage par zéro afin de récupérer les données. Un signal de réception inférieur à un certain niveau nominal (400 mV) n'est pas interprété comme contenant des données. Cette opération peut être effectuée par l'envoi du signal de réception dans un comparateur numérique ayant une polarisation sur ses entrées, comme représenté dans la Figure II.2.



| MOD       | Coupleur A | Coupleur B | Coupleur C      |
|-----------|------------|------------|-----------------|
| Emission  | Signal DTI | Signal DTI | Signal DTI      |
| Réception | '1'        | '0'        | Haute impédance |

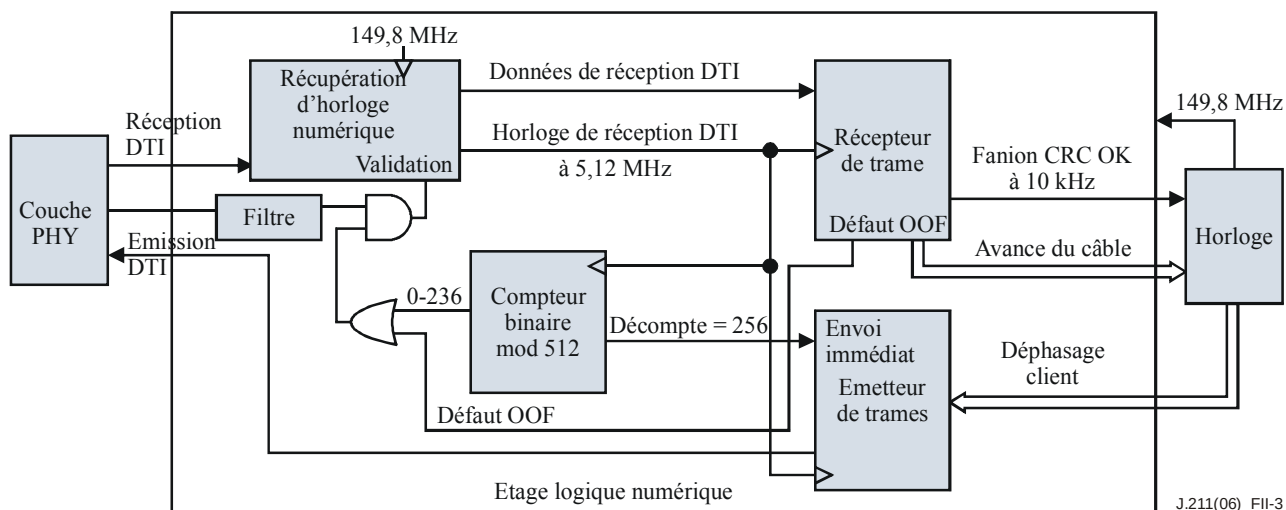
**Figure II.2 – Exemple de circuit d'interface DTI avec la couche PHY**

La sortie du détecteur de rafales est filtrée de façon à présenter un état actif permanent tant que des données sont présentes. Le signal de détection de rafales sert à qualifier le signal RX\_SIG.

Dans le sens d'émission, les coupleurs A, B et C sont actifs et en phase. Les coupleurs A et B produisent simultanément les symboles de Manchester du non-retour à zéro (NRZ). Le coupleur C effectue la préaccentuation du signal DTI émis.

### II.3 Processeur de trame de client DTI

La Figure II.3 ci-dessous présente à titre d'exemple le schéma fonctionnel d'un processeur de trames DTI. L'entrée de l'étage du processeur de trames DTI est un signal de non-retour NRZ à codage numérique de Manchester provenant de la couche PHY. Le signal de détection des rafales est également fourni par la couche PHY (si disponible). La sortie de l'émetteur de trames DTI vers la couche PHY de l'interface DTI est un signal numérique différentiel d'état 3 (DTI\_TX).



**Figure II.3 – Processeur de trame de client DTI**

Le recalage temporel (récupération d'horloge) numérique utilise un signal d'horloge échantillonné à 149,8 MHz qui est déduit du signal à 10,24 MHz au moyen d'un suréchantillonneur à 512/35. Le circuit de recalage temporel numérique fonctionne dans 2 états: en poursuite et en inertie. Le recalage temporel ne poursuit le signal d'entrée qu'en présence du signal de réception et ne poursuit pas le signal d'émission présent à l'entrée quand l'émetteur est activé.

Pendant que le signal de réception n'est pas en cours d'utilisation, le recalage temporel est dans l'état d'inertie et utilise le signal d'horloge échantillonné à 149,8 MHz, qui est accordé à la fréquence correcte par l'horloge afin de produire la fréquence porteuse.

Initialement, le recalage temporel peut être portillonné par le signal filtré de détection de rafales à partir de la couche PHY de l'interface DTI jusqu'à ce que le verrouillage de trames soit établi. Le client n'émettra pas avant que le verrouillage de la trame soit établi. Une fois que le verrouillage de trames est établi, le compteur binaire modulo 512 est aligné. Puis le compteur binaire est décodé et utilisé de façon à ne permettre le recalage temporel que si la rafale émise par le client est achevée et la détection de rafale enclenchée.

L'ensemble du processeur de trame de client DTI fonctionne à partir du signal récupéré de l'horloge à 10,24 MHz du serveur (et de l'horloge binaire associée à 5,12 MHz en codage de Manchester) car le processus de mesurage du temps de propagation aller-retour dans le serveur DTI nécessite un retard fixe de 256 bits du signal de modulation en code à 5,12 MHz.

Le bloc récepteur de trames détecte le préambule, reçoit la charge utile DTI, vérifie l'intégrité des données et produit un signal CRC\_OK à 10 kHz qui sert à piloter l'horloge. Le type de dispositif, les fanions de statut du serveur et l'avance temporelle du câble dans le serveur, qui font partie de la charge utile DTI, ne sont pas mis à jour si la trame possède un CRC erroné.

Le compteur binaire modulo 512 est décodé afin de localiser le début de l'intervalle de temps d'émission. L'émetteur de trames produit le préambule, met en série la charge utile, adjoint une somme de contrôle de redondance cyclique CRC-16 et envoie le train binaire en série vers la couche PHY de l'interface DTI. L'émetteur signale également la mesure actuelle de déphasage de l'horloge client. Le signal de commande pour la partie émission de la couche PHY de l'interface DTI a besoin d'être décodé à partir du compteur binaire modulo 512 et n'est validé que si le récepteur a correctement verrouillé ses trames.

Le signal de réception à partir de la couche PHY sera traité par le processeur de trames DTI. Celui-ci décode le signal à codage de Manchester, localise la fin du préambule puis extrait les données de charge utile. Un contrôle CRC-16 est effectué sur les données de réception et sert à valider les données de charge utile et à produire le signal de trame de réception DTI. L'avance temporelle du câble extraite des données de charge utile et le signal de trame de réception DTI servent à synchroniser l'horloge client.

Une fois que le processeur de trames DTI s'est synchronisé avec le signal entrant de rythme DTI et si la trame reçue est exempte d'erreur, la réponse du client est lancée quand le compteur binaire contenu dans le processeur de trames DTI atteint 256.

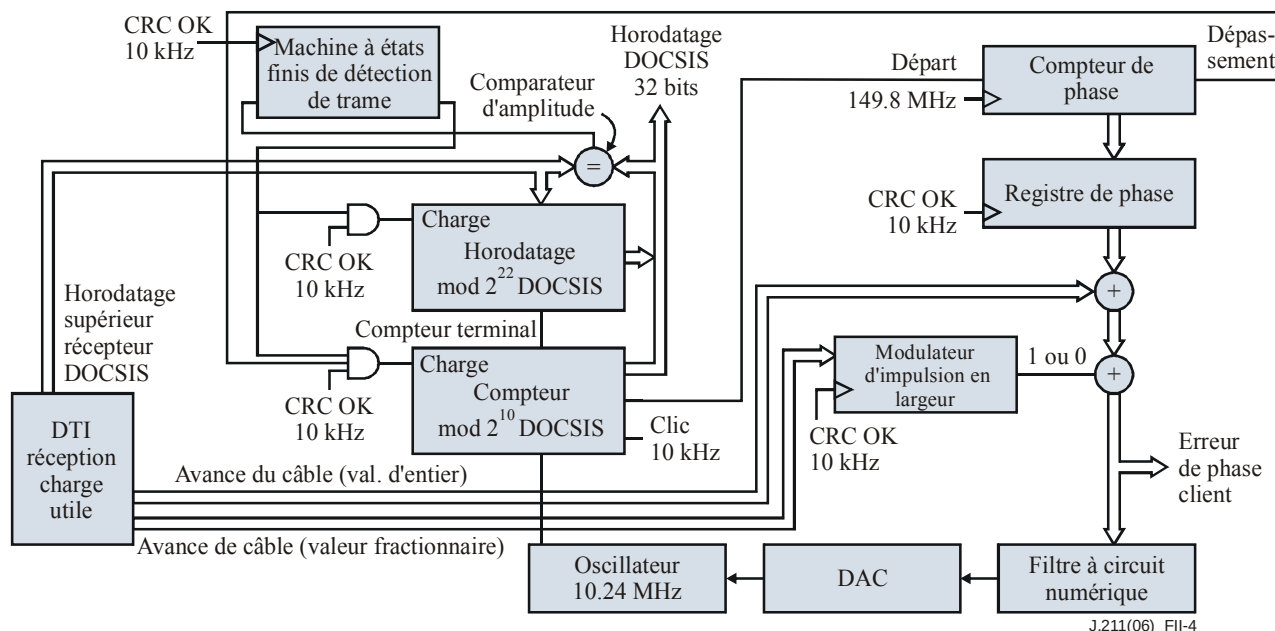
## **II.4    Processeur d'horloge de client DTI**

Le processeur d'horloge de client DTI prend en charge les systèmes DOCSIS utilisant l'horloge de référence à 10,24 MHz ou à 9,216 MHz. Les architectures de référence des deux fonctions d'interfonctionnement sont présentées ici par souci d'exhaustivité.



## II.4.1 Fonction d'interfonctionnement avec l'horloge de référence à 10,24 MHz

L'horloge client est construite autour d'un circuit numérique verrouillé en phase de type II. Sa fréquence est pilotée afin de réaliser le verrouillage de phase de sa base de temps locale des trames à 10 kHz par rapport au signal CRC\_OK à 10 kHz issu du processeur de trames de client DTI. Le verrouillage de phase est avancé par la valeur d'avance temporelle du câble. Le circuit verrouillé en phase a besoin d'être tolérant aux impulsions d'horloge manquantes car toute erreur dans les données va empêcher la validation du fanion CRC\_OK à 10 kHz dans le processeur de trames DTI.



**Figure II.4 – Processeur d'horloge DTI (10,24 MHz)**

L'horloge client devrait utiliser un compteur DOCSIS local mod 1024 afin de produire le segment inférieur du compteur temporel DOCSIS (base de temps locale des trames à 10 kHz), de façon à créer un signal à 10 kHz calé sur l'horloge DTI et de façon à exploiter le comparateur de phase à verrouillage D-PLL. Ce compteur utilise l'oscillateur local à 10,24 MHz et la phase du compteur est contrôlée par le circuit d'horloge. La valeur de ce compteur mod 1024 peut être chargée si des déphasages excessifs existent dans le circuit d'horloge, de façon à accélérer la durée de calage initial du circuit.

Ce compteur de phase produit le mot numérique de phase qui commande le circuit. La phase peut être représentée par un simple compteur binaire à valeur signée qui est chargé en valeur négative par une valeur décodée du compteur mod 1024. La valeur de préchargement devrait être telle que le compteur de phase passe par zéro quand le compteur mod 1024 revient à 0. Si le compteur de phase arrive à saturation, il produit le signal de "trop-plein" qui sert à régler le compteur mod 1024.

Le signal CRC\_OK à 10 kHz issu du processeur de trames DTI sert à prélever par échantillonnage la valeur du compteur de phase afin de l'insérer dans le registre de phase, lequel pourra ainsi conserver la trace du déphasage non corrigé dans le circuit. Afin de compenser le retard du câble, la partie entière de l'avance temporelle du câble dans le serveur, reçue dans la charge utile du récepteur de trames, est ajoutée au registre du compteur de phase afin de créer une valeur de déphasage corrigé. Cette opération verrouillera le circuit D-PLL sur une valeur du registre de phase qui est la valeur négative de l'avance du câble et fera donc avancer l'horloge de cette grandeur.

L'avance fractionnaire du câble, qui est une fraction d'une des périodes d'horloge à 149,8 MHz, est réalisée par modulation en largeur d'impulsion d'une valeur de 1 bit qui est ajoutée au registre de phase. Le modulateur en largeur d'impulsion crée une durée d'impulsion qui est l'avance

fractionnaire du câble/facteur d'utilisation égal à 256. Le modulateur en largeur d'impulsion est rythmé à 10 kHz car c'est le débit de mise à jour de la phase dans le circuit D-PLL.

La valeur des 22 bits supérieurs du compteur binaire DOCSIS, reçue dans la charge utile du serveur DTI, est comparée au compteur temporel mod  $2^{22}$  DOCSIS et est vérifiée au débit de 10 kHz du fanion CRC\_OK. Un automate à états de détection de trames vérifie cette comparaison afin de déterminer si les deux valeurs sont en accord; sinon, le compteur local de rythme DOCSIS sera synchronisé avec la valeur reçue en provenance du serveur DTI. Le compteur temporel mod  $2^{22}$  DOCSIS n'est chargé que si l'automate à états de détection de trames indique un état de perte du verrouillage de trames (OOF, *out-of-frame*). Le compteur temporel DOCSIS  $2^{22}$  à 22 bits supérieurs est concaténé avec le compteur mod 1024 afin de produire le compteur temporel DOCSIS  $2^{32}$  complet.

L'horloge client est construite autour d'un circuit numérique de type II verrouillé en phase comme représenté dans la Figure II.5. Sa fréquence est pilotée de façon à verrouiller en phase son horloge locale à pseudo-fréquence de trame de 10,24 kHz par rapport à l'horloge à pseudo-fréquence de trame de 10,24 kHz obtenue à partir du processeur de trames de client DTI. L'horloge à pseudo-fréquence de trame de 10,24 kHz est obtenue au moyen de l'horloge binaire de réception à 5,12 MHz. Le signal à 5,12 MHz rythme le compteur modulo 500 qui est maintenu en verrouillage avec le compteur d'impulsions PPS en réception, ce qui garantit que tous les clients à 9,216 MHz fonctionneront avec le même angle de phase qu'indiqué ci-dessus.

**Figure II.5 – Processeur d'horloge DTI (9,216 MHz)**

globale. Le compteur asynchrone est configuré de façon que le zéro représente l'alignement des deux sources de signaux d'horloge à 10,24 kHz.

Si les 24 bits de l'avance du câble indiquent la valeur zéro, alors la mesure de phase commande directement le filtre à circuit numérique. En régime établi, le déphasage sera égal à zéro par rapport à l'horloge à pseudo-fréquence de trame reçue. Comme l'horloge de réception est retardée par l'avance temporelle du câble, cette avance est injectée dans le circuit sous forme de décalage additif ce qui force l'horloge locale à 10,24 kHz et l'horloge de référence à se caler plus tôt que l'horloge de réception. L'avance est la grandeur correcte permettant de compenser le retard du câble.

Une dernière fonction est la production du compteur temporel DTI local à 9,216 MHz. Pour plus de clarté, le compteur temporel à 9,216 MHz est désigné par le terme de compteur DTS de client DTI à 9,216 MHz. L'étendue du compteur DTS de client DTI à 9,216 MHz est de  $2^{32}$  valeurs, comme dans le compteur DTS de serveur DTI.

Par définition, on peut assigner au compteur DTS de client DTI à 9,216 MHz la valeur de zéro au même début de période historique du 6 janvier 1980. A la seconde suivante, le compteur DTS de client DTI à 9,216 MHz avancera à 9'216'000.

L'instant de coïncidence est le prochain entier du compteur gpssec où le compteur DTS de client DTI à 9,216 MHz sera exactement égal à zéro, ce qui se produira toutes les  $2^{19}$  secondes (soit toutes les 524'288 secondes ou  $\sim 6$  jours)<sup>9</sup>. Si un processus de remise à zéro a été utilisé afin d'effectuer la synchronisation, chaque compteur DTS de client DTI à 9,216 MHz nécessitera jusqu'à six jours pour se caler. Le processus proposé consiste à produire une valeur appropriée de calage initial de compteur DTS de client DTI à 9,216 MHz au moyen de la fonction de mappage correcte, de façon que le calage puisse se produire sur toute frontière de seconde particulière.

La fonction de mappage du compteur gpssec vers le compteur DTS de client DTI à 9,216 MHz est la suivante:

$$\text{compteur DTS de client DTI à 9,216 MHz} = 2^{13} * [(1125 * (\text{gpssec mod } 2^{19})) \text{ mod } 2^{19}]$$

Comme toutes les opérations en arithmétique modulo sont en puissance de 2, ce mappage peut être facilement pris en charge dans le matériel informatique du client. Le temps du système indiqué par le compteur gpssec est transféré par le serveur dans le champ sous-commuté d'heure légale.

---

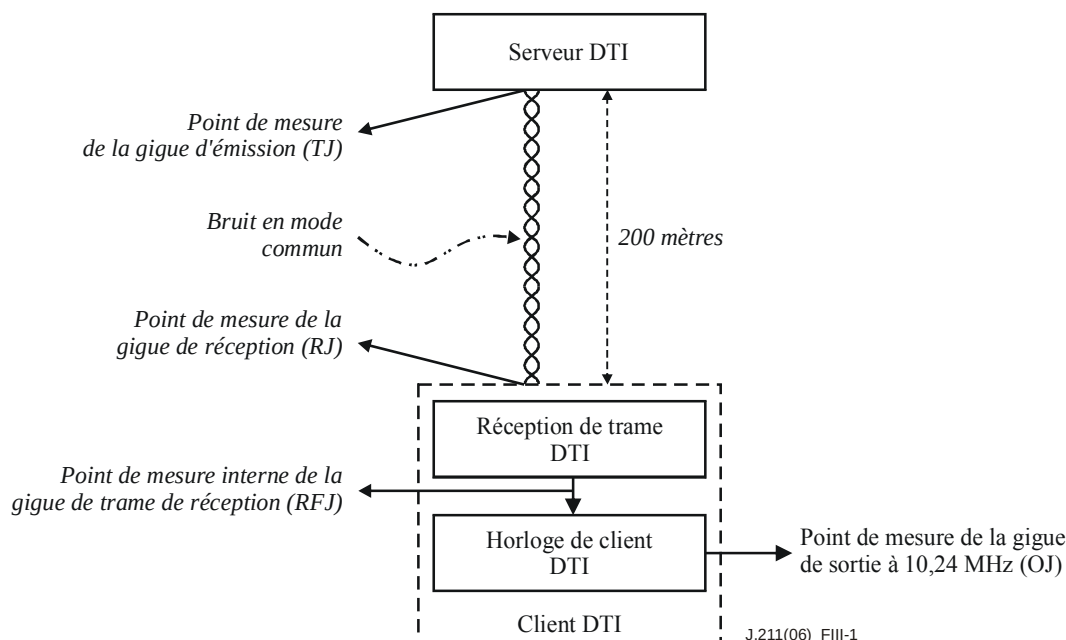
<sup>9</sup> Le compteur gpssec reviendra à zéro tous les 136 ans. Comme il y a exactement 8192 événements TOC entre les débordements de ce compteur, il n'y a aucune interruption du compteur DTS à 9,216 MHz du client DTI.

## Appendice III

### Budget de gigue à l'interface DTI

(Cet appendice ne fait pas partie intégrante de la présente Recommandation)

La Figure III.1 montre un modèle de référence pour l'analyse du budget de gigue:



**Figure III.1 – Budget de gigue à l'interface DTI – Modèle de référence**

#### III.1 Description du modèle

Le modèle caractérise la gigue accumulée dans le sens aller (du serveur DTI au client DTI). Le sens inverse n'est pas inclus car son influence est limitée à l'établissement de l'avance temporelle du câble.

La sortie du serveur DTI est une trame à codage de Manchester qui contient le préambule, la charge utile et le CRC et qui est émise à la fréquence de 10 kHz. Les caractéristiques de couche Physique sont spécifiées dans le § 6. Les principales spécifications sont les suivantes:

- tension différentielle en crête de modulation: de 2,2 V à 2,6 V;
- bruit de source en mode commun: <50 mV;
- impédance différentielle: 100 Ω.

La présente Recommandation prend en charge un mode de signal d'essai à la sortie sous forme d'une série de chiffres 1. Le point de mesure de la gigue d'émission (TJ, *transmit jitter*) est situé au niveau du connecteur RJ45 du serveur DTI.

Le prochain composant est le transport. Le paragraphe 6 stipule que le transport est assuré par une paire torsadée non blindée (UTP) de catégorie 5E (ou supérieure) d'une longueur maximale de 200 m. L'émission par l'interface DTI est à l'alternat sur la seule paire active dans le câble de façon à minimiser le brouillage et à optimiser la compensation du retard.

Le paragraphe 6.4.5 spécifie les exigences relatives à l'affaiblissement en mode commun. Le niveau du bruit induit en mode commun est de 15 V (comme dans le câble 10BT selon 802-3). Aussi bien le niveau de bruit différentiel en tension que la gigue marginale sont spécifiés.

Le mappage du bruit en mode commun sur la gigue marginale est modélisé en deux étapes. Le niveau du bruit différentiel est d'abord établi sur la base de ce qui suit:

- le modèle suppose une source de bruit blanc en mode commun au niveau de crête de 15 V;
- le taux minimal d'affaiblissement en mode commun (CMRR, *common mode rejection ratio*) est spécifié aussi bien pour le câble que pour les transformateurs terminaux (35 dB).

La seconde étape consiste à appliquer le niveau d'amplitude du bruit au niveau de gigue sur la base de la pente minimale de stabilisation du signal de réception dans le câble.

Cette performance en terme de gigue est mesurable au niveau du connecteur RJ45 d'entrée de client DTI. La gigue de réception (RJ, *receive jitter*) est modélisée comme la somme des puissances de la gigue d'émission et de la gigue en mode commun induites dans le moyen de transport.

Le processus de réception de trames DTI récupère la fréquence de trame de réception de 10 kHz à partir des rafales entrantes. Le processus de récupération utilise le préambule pour l'alignement. Il appartient au vendeur de mettre en œuvre les paramètres du processus de récupération de la fréquence de trame dans toute méthode visant à atteindre les objectifs de performance en sortie. Le modèle suppose un circuit numérique de verrouillage PLL sur la base de la haute fréquence ~149 MHz de l'horloge locale utilisée pour l'avance temporelle du câble. La largeur de bande maximale de ce circuit de verrouillage PLL est censée être égale ou inférieure à celle d'une trame complète. La gigue de trame de réception (RFJ, *receive frame jitter*) est donc un point de mesure interne qui est inclus dans le modèle afin de mettre en évidence les aspects de filtrage de gigue du processus de verrouillage de trames.

Finalement, l'horloge de client DTI est modélisée en régime établi comme étant un circuit de verrouillage PLL. L'entrée de référence dans le circuit PLL est le processus de réception des trames de 10 kHz y compris le bruit de quantification numérique à 149 MHz.

L'oscillateur local est censé être l'oscillateur minimal de client DTI. La largeur de bande de ce circuit est censée être de 1 Hz dans cette analyse.

## **III.2 Analyse**

### **III.2.1 Spécification de la gigue d'émission**

La gigue en haute fréquence >10 Hz est spécifiée comme étant inférieure à 50 ps (val. eff.). Cette tolérance de gigue tient compte du bruit attendu dans les circuits numériques de pilotage requis dans un serveur DTI. La gigue d'émission est modélisée comme une source de bruit blanc.

### **III.2.2 Analyse de gigue de réception**

La gigue de réception est la somme des puissances de la gigue d'émission et de la gigue associée du bruit en mode commun. Dans le domaine temporel, on peut la considérer comme étant la variation temporelle du diagramme en œil de la réception. La composante en mode commun est limitée par les exigences relatives à la couche Physique.

La limite de la gigue marginale induite en mode commun sur 200 m de câble est inférieure à 2,005 ns (val. eff.).

La gigue de réception totale est la somme des puissances, qui est dominée par l'effet du mode commun (2,01 ns eff.).

### **III.2.3 Analyse de la gigue de trame de réception**

La gigue marginale dans le diagramme en œil est filtrée au cours du processus de verrouillage de trame. En supposant une méthode de filtrage fondée sur le préambule, le facteur de réduction

effective du bruit, avant crénelage de la fréquence de trame de 10 kHz, est<sup>10</sup> égal à 11,3. La gigue de trame de réception résultante est alors de 177 ps (val. eff.).

### III.2.4 Gigue de sortie à 10,24 MHz

La gigue de sortie est la somme des puissances des deux composantes suivantes:

- la puissance de gigue de l'oscillateur DTI minimal dans la bande d'intérêt;
- la puissance résiduelle de gigue du signal de trame à 10 kHz quantifié dans la bande d'intérêt.

La gigue de sortie dans une largeur de bande de 1 Hz du filtre de circuit sans aucune technique renforcée de compensation de gigue est la suivante (voir Tableau III.1):

**Tableau III.1 – Performance en terme de gigue de sortie d'interface DTI à 10,24 MHz**

| Fréquence de coupure du filtre de gigue passe-haut [Hz] (Note 1) | Gigue intégrée dans la bande [ps (val. eff.)] |                                  |                       |                                   |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
|                                                                  | Gigue résiduelle d'entrée à 10 kHz (Note 2)   | Oscillateur DTI minimal (Note 3) | Gigue DTI à 10,24 MHz | Spécification DOCSIS 2.0 (Note 4) |
| 10                                                               | 68                                            | 4,02                             | 7,9                   | 88                                |
| 100                                                              | 3,44                                          | 1,55                             | 3,8                   | 73                                |
| 1000                                                             | 0,72                                          | 0,46                             | 0,86                  | 70                                |

NOTE 1 – Filtrage passe-haut à partir de la fréquence de coupure jusqu'à ½ fréquence de l'horloge de référence (5,12MHz).

NOTE 2 – En supposant le pire cas de bruit en mode commun sur une longueur maximale de 200 m de câble.

NOTE 3 – Performance normalement mesurée sur un oscillateur VCXO conforme.

NOTE 4 – Valeurs déduites du bruit de phase intégré à 50 ps, 20 ps, 50 ps, 50 ps, exigées de l'horloge de référence dans la spécification DOCSIS 2.0.

La gigue en bande large (10 Hz à la ½ fréquence d'horloge de référence) est représentée dans la première rangée. Le budget de 88 ps (val. eff.) est calculé selon la spécification DOCSIS 2.0 (6.3.8 de la Rec. UIT-T J.122) par sommation des puissances dans les bandes individuelles. En revanche, la gigue en bande large de l'interface DTI à 10,24 MHz est de 7,9 ps (val. eff.). Rappelons que cette gigue est mesurée en conditions de longueur maximale du tronçon de câble, de bruit en mode commun maximal et d'oscillateur minimal de client DTI. Il y a une marge meilleure que 20 dB par rapport à la performance requise de l'horloge de référence.

Si l'on considère l'utilisation directe du signal DTI à 10,24 MHz de façon à prendre en charge l'exploitation de la porteuse radioélectrique (avec filtrage minimal de gigue additionnelle), le plus important aspect est sans doute la gigue en haute fréquence, car la récupération de la porteuse va poursuivre les composantes à fréquence inférieure.

La troisième rangée montre la gigue intégrée au-dessus de 1 kHz. Le signal à 10,24 MHz émis directement à partir du client a une gigue inférieure à 1 (0,86) ps dans cette bande. C'est mieux qu'une marge de 38 dB par rapport à la performance requise de l'horloge de référence dans cette bande.

<sup>10</sup> Sur la base d'une implémentation particulière de récupération d'horloge de trame, d'autres méthodes peuvent donner plus ou moins d'affaiblissement du bruit.

## Appendice IV

### Synchronisation de la fréquence de modulation

(Cet appendice ne fait pas partie intégrante de la présente Recommandation)

En exploitation synchrone (S-CDMA), la fréquence de modulation en voie descendante est calée sur l'horloge de référence à 10,24 MHz au moyen du rapport M/N d'entiers de 16 bits.

Pour les fréquences de modulation normalisées DOCSIS et EuroDOCSIS, les rapports M/N recommandés sont représentés dans le Tableau IV.1.

**Tableau IV.1 – Synchronisation de la fréquence de modulation**

| Modulation    | Fréquence de modulation | Rapport M/N |
|---------------|-------------------------|-------------|
| EuroDOCSIS    | 6,952                   | 869/1280    |
| DOCSIS 64QAM  | 5,056941                | 401/812     |
| DOCSIS 256QAM | 5,360537                | 78/149      |

Dans une installation de système M-CMTS, le serveur-client DTI distribue un signal d'horloge de référence verrouillé en phase par l'intermédiaire de multiples dispositifs EQAM. Il est également souhaitable de commander la phase des signaux de fréquence de modulation produits par chaque dispositif EQAM. Cette commande peut être réalisée sans signalisation additionnelle de part et d'autre de l'interface DTI.

Le compteur temporel DOCSIS de 32 bits est rythmé par l'horloge de référence à 10,24 MHz et revient à zéro toutes les 4'294'967'296 périodes d'horloge. Malheureusement, aucune des valeurs 'n' requises ne divise ce nombre en valeurs entières.

Le client DTI fournit également une valeur 'gpssec' qui est un compteur temporel de 32 bits incrémenté à chaque seconde ou, plus précisément, toutes les 10'240'000 périodes de l'horloge de référence à 10,24 MHz.

Il est commode de déclarer qu'un passage par zéro dans le sens croissant de tous les signaux de fréquence de modulation s'est produit sur le flanc de l'impulsion d'horloge de référence correspondant à l'instant où le compteur 'gpssec' a été réglé à zéro (le 6 janvier 1980). Cela étant posé, il est possible de déterminer comme suit combien il reste de périodes d'horloge de référence avant le prochain passage par zéro dans le sens croissant du signal de fréquence de modulation, compte tenu de la valeur du compteur 'gpssec':

$$\text{Périodes d'horloge de référence restantes} = ('gpssec' \times 10'240'000) \text{ MOD } 'N'$$

Par exemple, si la valeur 'gpssec' vient d'être mise à jour à 123'456, alors le nombre de périodes d'horloge de référence restantes avant un passage par zéro dans le sens croissant de la fréquence de modulation en QAM 256 DOCSIS (M/N = 78/149) est donné par:

$$\text{Périodes d'horloge de référence restantes} = (123'456 \times 10'240'000) \% 149 = 135$$

Cela signifie que le symbole QAM 256 DOCSIS subira un passage par zéro dans le sens croissant dans exactement 135 périodes d'horloge de référence. Ce nombre de périodes restantes (135) peut servir à 'décompter le temps' jusqu'à une impulsion de réinitialisation, ou en variante, peut être forcé directement dans le registre diviseur de l'oscillateur NCO servant à produire la fréquence de modulation.

Etant donné que l'ensemble des valeurs N est fermé, des formules spécifiques peuvent être utilisées afin de simplifier les calculs. Plus précisément, pour les trois valeurs de N indiquées dans le tableau:

N = 1'280 Périodes d'horloge de référence restantes = 0

N = 812 Périodes d'horloge de référence restantes = ((gpssec + débordement)  
MOD 203) \* 680) MOD 812

N = 149 Périodes d'horloge de référence restantes = ((gpssec + débordement)  
MOD 149) \* 124) MOD 149

Noter que pour N = 1'280, il y a exactement 8'000 exactement divisible par N périodes dans une seconde, de sorte que le nombre de périodes restantes est constant et égal à zéro.

Comme cette valeur 'n' ne divise pas exactement  $2^{32} \times 10'240'000$ , ce mécanisme pourrait provoquer un unique transitoire de période quand le compteur 'gpssec' revient à zéro, ce qui se produit tous les 136 ans et va se produire pour la première fois en l'an 2116. Afin d'empêcher cet effet, un terme de débordement est inclus et devra être ajouté à partir du prochain évènement de débordement, en 2116. Ce terme de débordement est égal à 74 pour N = 812 et à 129 pour N = 149.



## Appendice V

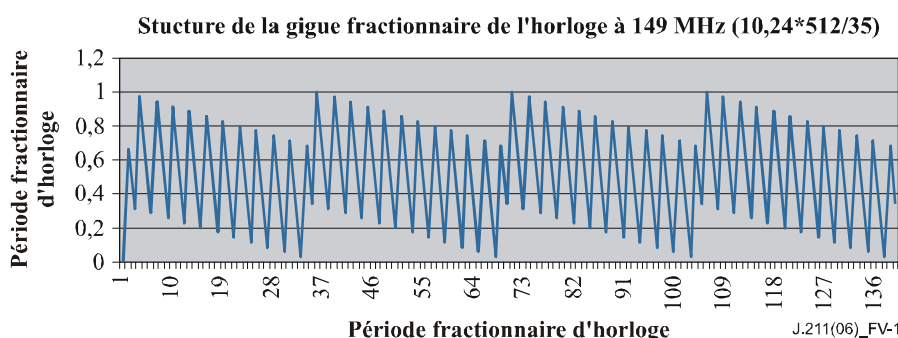
### Considérations relatives à l'horloge DTI à grande vitesse

(Cet appendice ne fait pas partie intégrante de la présente Recommandation)

Un aspect fondamental du protocole de synchronisation DTI est l'adoption de l'horloge DTI à grande vitesse nominale, de 149,8 MHz. La définition précise de l'horloge DTI à grande vitesse est la suivante:  $10,24 \text{ MHz} * 512/35$ . L'horloge DTI à grande vitesse permet une mise en œuvre intégrée de fonctions de mesurage entièrement numérique de la phase avec de faibles valeurs résiduelles de gigue et de déphasage. La mesure de phase est requise dans le client afin de verrouiller précisément l'horloge de client à 10 kHz sur l'horloge de réception avec application de l'avance de câble. Le serveur distant a besoin d'une mesure de phase précise afin d'exécuter le calcul de d'avance temporelle du câble. Le recalage numérique en réception peut également utiliser l'horloge à grande vitesse afin de prendre en charge toutes les implémentations numériques. La sélection de l'horloge DTI à grande vitesse est un compromis entre gigue et biais de sortie.

Par exemple, une approche simple consiste à sélectionner un multiple direct de l'horloge de référence. Une horloge à grande vitesse de 153,6 MHz est exactement égale à  $10,24 \text{ MHz} * 15$ . Une pourrait considérer un compteur mesurant la phase différentielle entre l'horloge de réception à 10 kHz et l'horloge de client local à 10 kHz<sup>11</sup>. En l'absence de bruit, le résultat du mesurage serait statique pour des variations de retard inférieures ou égales à la valeur nominale de 6,5 ns de l'horloge à grande vitesse. Alors que la gigue résultante serait faible, l'erreur d'alignement pourrait atteindre la valeur nominale de 6,5 ns. La variation de bruit et de biais mesurée en conditions d'exploitation réelle se traduirait par une activité transitoire de 6,5 ns et dégraderait le fonctionnement, particulièrement celui de la télémétrie de précision en S-CDMA.

La sélection du multiple non entier ( $512/35 = 14,62857....$ ) produit une structure de gigue fractionnaire de l'horloge qui se répète tous les 35 intervalles DTI, comme représenté dans la Figure V.1.

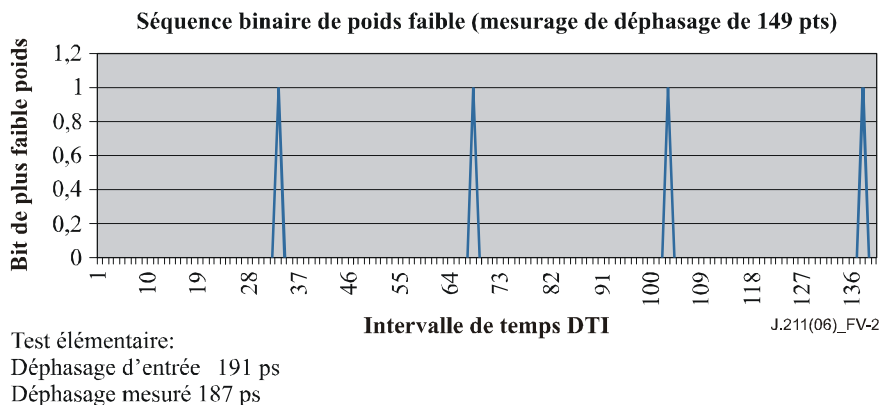


**Figure V.1 – Structure de la gigue fractionnaire de l'horloge**

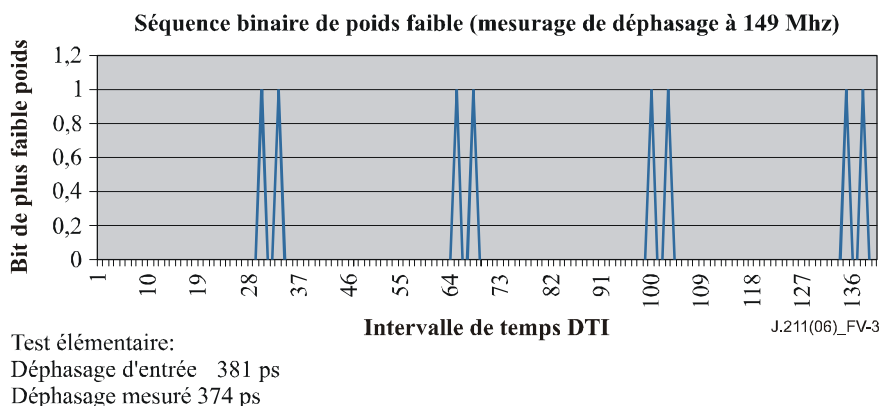
Cette structure de gigue permet une discrimination des erreurs de déphasage jusqu'à une résolution de 190 ps, tout en contraignant la gigue propre de cette structure de façon que le circuit PLL client puisse effectivement la filtrer. Si le même compteur que ci-dessus mesure la phase différentielle

<sup>11</sup> Il s'agit seulement d'un exemple de situation dans laquelle des problèmes de gigue et de biais pourraient se poser. Les mêmes problèmes sont à prendre en considération lors de la récupération d'horloge numérique par le signal de réception DTI ainsi que lors du mesurage du retard de câble.

entre le signal de réception et le signal local à 10 kHz, mais utilise maintenant l'horloge DTI à grande vitesse (149,8 MHz), et si ce déphasage est de 191 ps, le bit de poids faible du compteur va basculer comme représenté dans la Figure V.2. Le bit de plus faible poids bascule sur "1" une seule fois tous les 35 intervalles DTI. Cette séquence sera intégrée dans la largeur de bande du circuit PLL client et pour un verrouillage PLL sur 10 Hz, le déphasage moyen est de 187 ps avec une gigue résiduelle inférieure à 5 ps. Si l'on augmente ce déphasage jusqu'à 381 ps, le bit de plus faible poids va alors basculer comme représenté dans la Figure V.3. Maintenant, la séquence est de deux impulsions "1" tous les 35 intervalles DTI avec la mesure de déphasage moyen en sortie de 374 ps et avec une gigue résiduelle inférieure à 5 ps.



**Figure V.2 – Structure de gigue lors du mesurage de phase – Déphasage de 191 ps**



**Figure V.3 – Structure de gigue lors du mesurage de phase – Déphasage de 381 ps**



## SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

|                |                                                                                                             |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Série A        | Organisation du travail de l'UIT-T                                                                          |
| Série D        | Principes généraux de tarification                                                                          |
| Série E        | Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains        |
| Série F        | Services de télécommunication non téléphoniques                                                             |
| Série G        | Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques                                        |
| Série H        | Systèmes audiovisuels et multimédias                                                                        |
| Série I        | Réseau numérique à intégration de services                                                                  |
| <b>Série J</b> | <b>Réseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias</b> |
| Série K        | Protection contre les perturbations                                                                         |
| Série L        | Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures        |
| Série M        | Gestion des télécommunications y compris le RGT et maintenance des réseaux                                  |
| Série N        | Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle                          |
| Série O        | Spécifications des appareils de mesure                                                                      |
| Série P        | Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux                         |
| Série Q        | Commutation et signalisation                                                                                |
| Série R        | Transmission télégraphique                                                                                  |
| Série S        | Equipements terminaux de télégraphie                                                                        |
| Série T        | Terminaux des services télématiques                                                                         |
| Série U        | Commutation télégraphique                                                                                   |
| Série V        | Communications de données sur le réseau téléphonique                                                        |
| Série X        | Réseaux de données, communication entre systèmes ouverts et sécurité                                        |
| Série Y        | Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et réseaux de prochaine génération             |
| Série Z        | Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication                                    |