

La plateforme IP DVB-RCS, architecture et expérimentations

IV.1. Introduction

Nous avons décrit dans les chapitres précédents, les concepts de base caractérisant les réseaux bidirectionnels par satellite. Nous avons notamment présenté le standard DVB-RCS devenu l'une des références pour le support de l'IP par satellite.

Ceci va donc nous permettre d'introduire la plateforme IP DVB-RCS. Il s'agit d'un réseau démonstratif pour la transmission de l'IP bidirectionnel par satellite et reposant sur le standard. Ainsi, l'objectif premier du présent chapitre est d'exposer l'architecture ainsi que les principales caractéristiques de la plate forme IP DVB-RCS. Nous présentons, par la suite, les différentes expérimentations que nous avons mises en œuvre suivies par notre analyse et notre interprétation des résultats. Ces tests consistent en l'observation du comportement de multiples applications IP (VoIP, HTTP, transferts de fichiers..) au sein d'un réseau DVB-RCS.

Le but est d'évaluer les performances de ces applications. Ceci nous permettra d'effectuer les adaptations nécessaires portant autant sur la configuration que sur le dimensionnement du système dans le but d'améliorer les performances. Ces propositions prennent en considération plusieurs paramètres tels que le niveau de service que s'est fixé l'opérateur ou les niveaux de priorités qu'il souhaite accorder à ses applications respectives. Ces exigences se traduisent au niveau technique par un éventail de possibilités dont dispose l'opérateur en termes de stratégie d'allocation de bande passante (statique et dynamique), et de niveau de qualité de service compte tenu des exigences de chaque application.

L'intérêt de la démarche réside dans son approche globale. En effet, en partant de technologies dont l'efficacité a été démontrée, et par l'intermédiaire des solutions industrielles qui les implantent on tend à atteindre deux objectifs. Le premier est d'apprécier le niveau de performances offert par ces technologies (DVB-RCS, Accélération TCP, Chiffrement IPsec..) quand elles sont intégrées au sein d'un système global à l'instar de la plateforme IP DVB-RCS. Le deuxième objectif est de déceler les écarts qu'il y a entre la norme et ses implantations industrielles tant sur les choix techniques des industriels, que sur la mise en œuvre pratique des fonctions logiques (BoD, DAMA.). Nous essayons d'apprécier l'impact potentiel de cet écart sur les performances.

Notons que ce travail représente, une part importante de notre contribution qui va de la spécification de la plateforme IP DVB-RCS jusqu'à l'intégration, et finalement les expérimentations et les résultats.

IV.2. La plateforme IP DVB-RCS

IV.2.1 Introduction

Depuis quelques années, nous assistons à la croissance de la demande de solutions réseaux IP bidirectionnels par satellite. Ce besoin a été alimenté par le caractère incontournable qu'ont acquis les technologies de l'information de communication en parallèle à l'avènement de technologies IP par satellite pérennes et fiables, le DVB-RCS en particulier.

En tant, qu'acteur incontournable de l'industrie satellite et intégrateur de solutions VSAT, un des objectifs stratégiques d'EADS Astrium consistait à pouvoir fournir des solutions réseaux multimédia large bande par satellite. Les clients potentiels vers lesquels

ces solutions se destinent sont surtout des acteurs de l'industrie pétrolière, les agences de presse, des clients institutionnels tels que les Nations Unis ...

Le DVB-RCS en tant que nouveau standard VSAT est, depuis quelques années déjà, l'objet de multiples projets de recherche et de développement au sein de l'entreprise. On peut citer Web ou Arethuse [1] à titre d'exemple. Ces expériences ont été le moyen d'étudier la norme et développer les compétences techniques autour. Ce fut aussi la phase de préparation au développement des moyens permettant d'intégrer et d'opérer des réseaux DVB-RCS pour la transmission des applications IP (Internet, e-mail, VoIP...)

Ce travail a eu lieu dans le cadre du projet DVB export. La première étape était de définir l'architecture et les caractéristiques d'une solution réseau IP DVB-RCS pour des services voix et de données IP.

Ensuite, et en fonction de cette spécification, il fallait sélectionner les solutions industrielles qui implantent les différentes technologies à intégrer au système c'est-à-dire : DVB-RCS, VoIP, chiffrement IPsec...

IV.2.2 Principaux critères de spécification

Bâtie autour de la technologie DVB-RCS, le rôle principal du réseau IP DVB-RCS est de servir de support démonstratif pour les services voix et data bidirectionnels par satellite. Nous l'avons donc défini autour des critères suivants :

- Fournir un accès bidirectionnel IP avec les différents types d'applications pouvant être acheminées (Internet, LAN-to-LAN, email, transferts FTP...) et la possibilité d'établir des niveaux de priorités entre les différents trafics.
- Disposer d'une solution VoIP dont la mise en œuvre prend en considération les caractéristiques du support physique de transmission par satellite avec un échange minimal de signalisation. Elle doit permettre un large choix de codecs afin d'en sélectionner à l'issue des tests ceux offrant les meilleures performances.
- Etant donné qu'une part importante du trafic (http, FTP, email...) repose sur TCP comme protocole de transport, une solution d'accélération TCP est nécessaire afin d'atténuer les dégradations des performances du protocole sur un lien satellite. Des PEPs et des accélérateurs TCP implantant des mécanismes tels que ceux décrits dans le chapitre II (taille de fenêtre, *spoofing*..) ont été intégrés au réseau.
- La solution est destinée à des clients professionnels. Par conséquent, la protection des données revêt un intérêt non négligeable. Une piste d'étude fut non seulement de trouver la solution permettant de chiffrer les données simultanément à une accélération TCP mais surtout d'étudier l'impact potentiel du chiffrement sur la qualité du service au sens général en terme de délai, de surcoût en encapsulation et donc en bande passante.

A l'ensemble de ces critères s'ajoute une contrainte « système » côté Hub, propre au contexte du projet de l'entreprise. On disposait déjà de l'ensemble des équipements pouvant implanter un lien DVB-S (Aller). La démarche consistait donc à acquérir une solution DVB-RCS suffisamment modulaire de sorte qu'on puisse doter d'une voie Retour RCS, notre lien DVB-S existant.

Dans ce qui suit, nous présentons les multiples sous-systèmes composant le réseau démonstratif IP DVB-RCS. Cela va de la technologie DVB-RCS, à la solution VoIP en passant par l'accélération TCP et le chiffrement. Nous tentons aussi de montrer clairement les différents liens et interdépendances entre ces sous-systèmes.

IV.2.3 Architecture générale de la plate forme IP DVB-RCS.

Le réseau démonstratif IP DVB-RCS suit une topologie en étoile avec une Gateway comprenant plusieurs sous-systèmes et un nombre de terminaux ou plus généralement des segments utilisateurs intégrant plusieurs composants (terminaux satellite, module d'accélération TCP, téléphones IP...)

La Gateway joue à ce titre un double rôle. D'une part, elle assure des fonctions de contrôle d'accès au réseau satellite, de gestion et d'allocation de bande passante en plus de la synchronisation temporelle. D'autre part, elle centralise les interfaces de liaisons avec les réseaux externes de téléphonie et d'Internet.

Les terminaux forment à leur tour le point d'accès pour les utilisateurs finaux (LAN terrestres) au réseau satellite et par conséquent aux services qui y transitent (accès Internet, VoIP ...). Ils constituent également le point de départ de l'ensemble des requêtes de bande passante vers le Hub.

Remarque

Pour le réseau IP DVB-RCS, un simulateur en bande L simule le lien satellite. Par conséquent, les aspects relatifs à la radio fréquence ainsi que les équipements qui leur sont associés (LNB, BUC, antennes ...) ne seront pas abordés dans cette description.

Conformément au standard, une porteuse DVB-S est diffusée sur la voie Aller de la Gateway vers les terminaux. Sur la voie Retour, un nombre de porteuses (qui peut varier) selon le schéma MF-TDMA permet aux terminaux d'accéder au lien satellite. Les deux directions du trafic assurent la connectivité IP bidirectionnelle par satellite entre les différents LAN connectés aux multiples terminaux et les réseaux terrestres (Internet et téléphonie) accessibles à travers la Gateway.

Le système supporte tous les services à base d'IP tels que HTTP, FTP, VoIP, Vidéo streaming... et plus largement tout type de protocole au-dessus d'IP. Il intègre également les mécanismes essentiels *Diffserv* permettant d'adapter la qualité de service en fonction des besoins spécifiques des applications. Cet aspect sera traité davantage dans la suite du chapitre.

L'architecture suit le schéma classique d'un réseau en étoile (cf. figure 4.1). Pour la décrire nous reprenons la terminologie utilisée au chapitre II et elle consiste en:

- **Le segment opérateur** ou **Gateway** ou **NCC** (*Network Control Center*). Sa définition regroupe l'ensemble des systèmes qui y sont situés (VoIP, PEP⁹,...) et elle n'est pas restreinte aux seuls composants du réseau satellite.

- La Gateway DVB-RCS et NCC ;
- Le PABX (*Private Automatic Branch eXchange*) VoIP ainsi qu'une interface vers le réseau de téléphonie GSM/PSTN ;
- Le module de chiffrement des flux IP et d'accélération TCP. ;
- Les interfaces avec les réseaux internet et téléphonique.

- **Le segment spatial**, simulé par un ECP (Emulateur de Canaux de Propagation) en bande L (1-2 GHz)

⁹ Pour des raisons de simplicité de langage, on appellera PEP l'équipement responsable du chiffrement IPsec et de l'accélération TCP.

- **Le segment utilisateur** pour la plateforme de tests, le nombre de terminaux varie entre 2 et 4. Chaque segment utilisateur comprend

- Un terminal DVB-RCS ou RCST (*Return Channel Satellite Terminal*).
- Un module d'accélération TCP et de chiffrement des flux IP par IPsec.
- Un LAN utilisateur avec un nombre de PCs, de téléphones et de Soft phones IP.

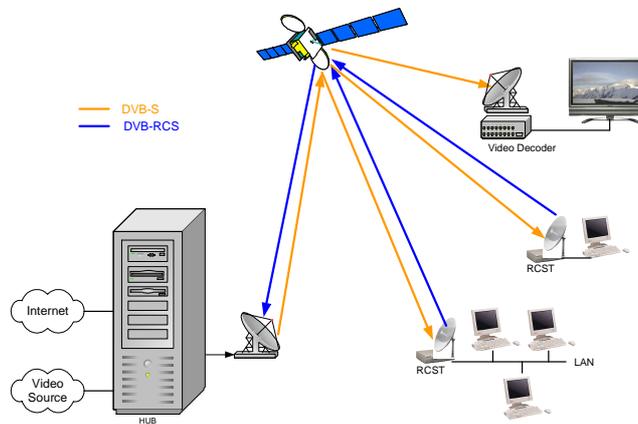


Figure IV.1 **architecture globale du réseau IP DVB-RCS**

Remarque

Afin que la plateforme IP DVB-RCS soit représentative, un minimum d'une Gateway et de deux terminaux est suffisant. Le nombre de terminaux varie entre deux et quatre selon les besoins en configuration pour les tests.

IV.2.3.1 Le segment utilisateur

Le segment utilisateur est composé d'un LAN local connecté au réseau satellite par l'intermédiaire du terminal RCST. Le réseau local comprend un ensemble de PCs, de téléphones et de soft phones IP pouvant avoir accès au réseau Internet via les liens satellites. Les LANs situés au niveau des différents segments satellite peuvent notamment communiquer entre eux même si un double bond satellite est, alors, nécessaire.

Dans le cas où le module d'accélération TCP et de chiffrement est présent, il joue dès lors un rôle de routeur d'accès pour le trafic montant. En l'absence de ce module, ce rôle incombe au terminal satellite RCST. Il attribue des niveaux de priorité aux flux IP sur la voie retour et les traite en fonction. En présence du module PEP, et dans les deux directions du flux, le rôle du RCST se restreint à l'encapsulation ou à la dé-encapsulation MPE/MPEG des paquets IP chiffrés qu'il reçoit.

L'interface air du RCST est directement connectée au simulateur satellite. Sur le lien Retour, le terminal transmet un signal codé et modulé en bande L (1-2 GHz). Sur le lien Aller, où le terminal est en réception, il démodule et décode le signal en bande L reçu du simulateur.

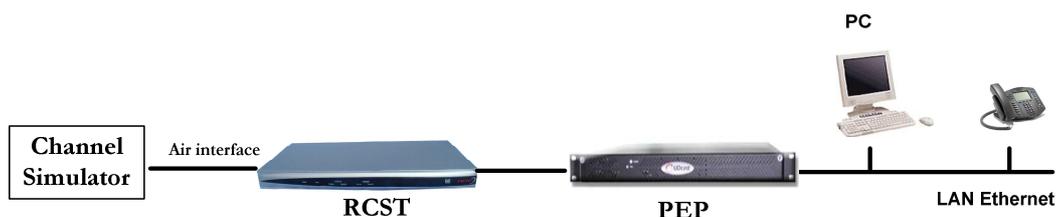


Figure IV.2 **Architecture du segment utilisateur**

IV.2.3.2 Le segment satellite

Le segment satellite est simulé par un Emulateur de Canaux de Propagation (ECP) opérant dans la bande L (1-2 GHz). Son rôle principal est d'introduire un délai satellite fixe - mais configurable- de l'ordre de 250 ms sur chaque direction de trafic afin d'aboutir à RTT (*Round Trip Time*) de 500 ms.

IV.2.3.3 Architecture du segment opérateur

Tel que nous l'avons mentionné ci-dessus, le segment opérateur se compose de :

- Une Gateway DVB-RCS et NCC ;
- Un PABX VoIP avec une interface vers le réseau de téléphonie GSM/PSTN ;
- Un module de chiffrement des paquets IP et d'accélération TCP placé en coupure pour les flux entrants et sortant du réseau satellite;

Un routeur centralise les raccordements vers l'ensemble des sous-réseaux IP des différents sous-systèmes en plus d'une connexion vers le réseau Internet.

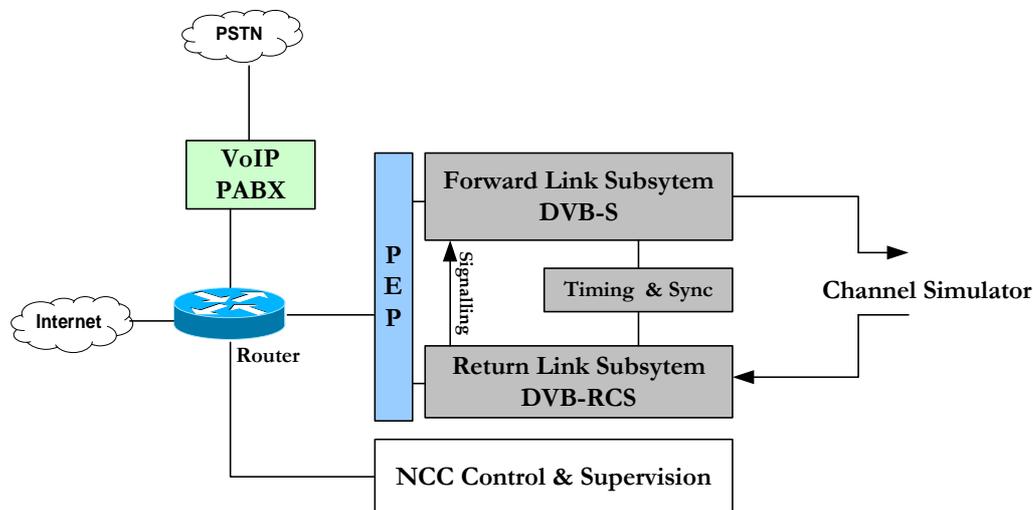


Figure IV.3 Architecture du segment opérateur

IV.2.3.3.1 Le Système DVB-RCS

De part son rôle important, il constitue la partie centrale du réseau. Il se charge de la transmission dans les deux directions du trafic de la totalité des flux IP transitant par le réseau satellite. Il est composé de quatre parties principales. Cette décomposition reste tout de même schématique étant données les fortes corrélations et interdépendances entre les différentes parties.

IV.2.3.3.1.1 Le sous système Aller ou Forward

Le sous-système Aller (ou *Forward*), décrit par la figure 4.4, implante un lien DVB-S et comprend :

- **Un encapsulateur IP/DVB** chargé de transformer les flux IP reçus en flux MPEG2-TS conformément au schéma MPE MPEG ;
- **Un multiplexeur MPEG** dont le rôle est de multiplexer les tables de signalisation DVB-S/RCS, le flux MPEG des données et la référence temporelle PCR. (*Packet Clock Rate*) ;

- Un **modulateur DVB** chargé d'appliquer le code correcteur d'erreur (*Reed Solomon* et convolutif) et de moduler le signal –voie Aller- en QPSK avant de l'émettre en bande L vers le simulateur du segment satellite.

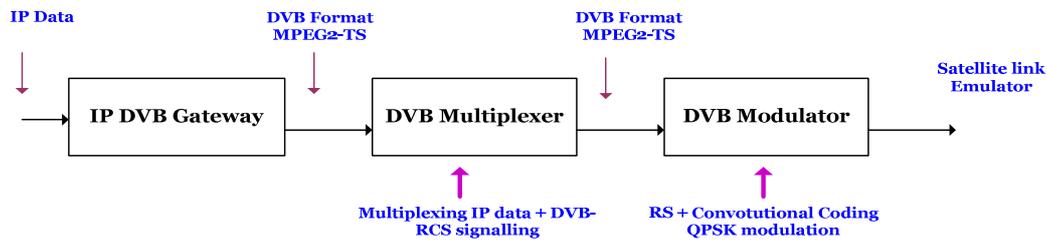


Figure IV.4 le sous système Forward ou Aller (DVB-S)

IV.2.3.3.1.2 Le sous système Retour ou Return

Au sous-système Retour (ou *Return*) incombe le rôle de recevoir le signal montant –voie Retour- en bande L à la sortie du simulateur. Ainsi le signal et plus particulièrement les *bursts*, sont extraits et les cellules MPEG restitués. Ce sous-système est également en charge de générer l'ensemble des tables de signalisation à expédier au multiplexeur. Il comprend

- Le **RLSS (*Return Link SubSystem*)** est en charge de démoduler, décoder et de dé-encapsuler le signal des différentes porteuses sur le lien retour. Le signal montant est constitué de *bursts* de signalisation et de *bursts* de données. Les paquets IP sont restitués à partir de ces derniers et expédiés vers le PEP ou vers le routeur (en cas d'absence d'accélération et de chiffrement). La capacité de traitement de l'équipement est limitée par le débit maximal global (la somme des débits des porteuses Retour), le nombre de paquets par secondes PPS (*Packets Per Second*) ainsi que le nombre de porteuses.
- Le **NCR *Inserteur*** est l'équipement en charge de générer la référence temporelle NCR. Elle est diffusée à l'ensemble des terminaux sous forme de paquets PCR. La NCR est asservie à une référence 10 MHz externe diffusée par le sous-système de synchronisation. Cet équipement s'occupe notamment d'expédier au multiplexeur les tables DVB-SI et RCS générées par le NCC. Les délais de traitement du multiplexeur MPEG et du modulateur DVB sont pré-compensés par le *NCR Inserteur* afin d'éviter une dérive de l'horloge.
- Le **NCC (*Network Control Center*)** est la partie « intelligente » de la Gateway DVB-RCS. C'est également une partie propre au constructeur dont l'implantation architecturale, logicielle et matérielle est laissée au libre choix du concepteur du système. Elle est composée de 3 serveurs.
 - Le premier serveur sert de base de données. On y stocke les comptes utilisateurs (nombre, profils, description..) ainsi que les paramètres de configuration du réseau.
 - Le deuxième serveur implante les fonctions intelligentes du système regroupant la gestion des accès, la fonction CAC, l'algorithme d'allocation de

bande passante DAMA et le contrôle du lien. Il est également responsable de gérer les tables DVB-S/RCS qu'il transmet par la suite au *NCR Inserter*.

- Le troisième serveur fournit une interface de configuration aussi bien pour le réseau (terminaux, paramètres du satellite, débits, porteuses retour, time slot, trames, super trames..) que pour la pré-configuration des tables de signalisation (délai de transmission, position du satellite..). Il interagit en permanence avec le premier serveur qui stocke l'ensemble de ces modifications.

Remarque

Dans la suite du document, nous réservons la terminologie paquets aux datagrammes IP et par analogie avec ATM, nous appelons cellules les PDU MPEG.

IV.2.3.3.1.3 Le sous-système de référence temps et fréquence.

Ce sous-système consiste en un générateur temps et fréquence GPS. Il a pour rôle de fournir la référence de temps, base nécessaire pour générer la NCR. Il sert également à fournir une source temporelle unique pour l'ensemble des serveurs et des équipements du Hub. Il génère aussi une référence en fréquence. C'est en se référant à cette base que le NCC peut évaluer les écarts en fréquence des terminaux avant de notifier les corrections à effectuer.

La figure 4.5 donne l'architecture détaillée de la Gateway DVB-RCS avec le lien DVB-S (Aller) y compris leurs différents composants. Tel que nous l'avons mentionné plus haut, nous disposons déjà d'un lien DVB-S (Aller). Afin d'utiliser le maximum d'équipements et pour des raisons évidentes de coût, il fallait trouver, côté Hub, la solution DVB-RCS qui nous permet d'intégrer le lien Retour au segment Aller déjà à notre disposition. Le choix s'est donc porté sur cette solution modulaire. Elle a l'avantage de séparer physiquement les deux liens de la transmission (Aller et Retour) et rend, par la même, envisageable, l'idée de doter d'une voie Retour RCS un système DVB-S déjà existant. Notons que la plupart des solutions industrielles sont beaucoup plus compactes. Tous les composants d'un Hub DVB-RCS se répartissent sur un nombre limité d'équipements. Ceci empêche une distinction claire d'un point de vue matériel entre lien Aller et lien Retour. La phase d'intégration du système DVB-RCS consistait davantage en une mise à jour d'un réseau DVB-S en un réseau bidirectionnel DVB-RCS.

Remarque:

L'architecture du Hub DVB-RCS décrite ci-dessous est une implantation industrielle possible du standard. En effet, ce sera aussi l'un des résultats de nos expérimentations, la norme laisse certaines marges de liberté autant sur les choix techniques que sur les implantations algorithmiques (BoD, DAMA..). Nous notons, à titre d'exemple, qu'une référence temps et fréquence GPS tel que c'est le cas ici n'est pas imposée par le standard.

IV.2.4 Fonctionnement du système DVB-RCS

Cette partie fournit un descriptif succinct du mode de fonctionnement du Hub DVB-RCS. Bien qu'il soit compatible avec le standard, ce fonctionnement reste dépendant de certains choix systèmes que nous avons effectués et que nous tenterons de développer quand ce sera nécessaire en raison du caractère modulaire du Hub considéré. C'est pour cela que nous jugeons utile d'exposer la manière avec laquelle le système DVB-RCS fonctionne.

IV.2.4.1 Lien Aller DVB-S

Sur le lien Aller, les flux IP proviennent d'Internet, du PABX VoIP mais aussi du sous-système Retour dans le cas d'un trafic entre deux terminaux. La destination par défaut de ces flux est la passerelle IP/DVB ou l'encapsulateur IP/DVB. A la sortie de cet équipement, un seul flux MPEG-TS est généré. Il constituera avec la signalisation, la porteuse DVB-S. Un PID unique (PID données) est attribué à tous les paquets MPEG-TS composant le flux. Ce sera le PID trafic que tous les terminaux doivent « écouter ». Il est spécifié par l'opérateur du réseau et spécifié dans le NCC également.

C'est notamment au niveau de la passerelle IP/DVB, qu'une association statique entre les adresses IP des différents réseaux locaux, les adresses MAC des terminaux qui leur sont associés et le/les PID trafic (données), est établie. D'une manière schématique, pour router les paquets sur le lien Aller, la passerelle IP/DVB joue un rôle de routeur d'accès dans ce cas. Elle détermine l'adresse MAC du terminal correspondant à une adresse IP destination en consultant le fichier des associations statiques. Elle procède par la suite à l'encapsulation MPE MPEG. Notons, au passage, que le système DVB-RCS en question n'a pas recours à la table INT (*IP/DVB Notification Table*). L'adressage et le routage DVB s'appuie sur des associations statiques définies par l'opérateur du réseau.

C'est aussi au niveau de la passerelle IP/DVB que le débit MAC maximal que peut atteindre la porteuse est spécifié. Etant, un équipement DVB, il est possible d'y configurer les tables PSI et DVB-SI en particulier les tables PAT, PMT, NIT¹⁰ et SDT. Cette dernière n'est pas très utile dans notre cas, le segment satellite étant simulé. Toutefois, ces tables sont générées par le NCC DVB-RCS en plus de la signalisation RCS. Le but est d'avoir des tables de signalisation cohérentes avec un même formatage, celui attendu par les terminaux.

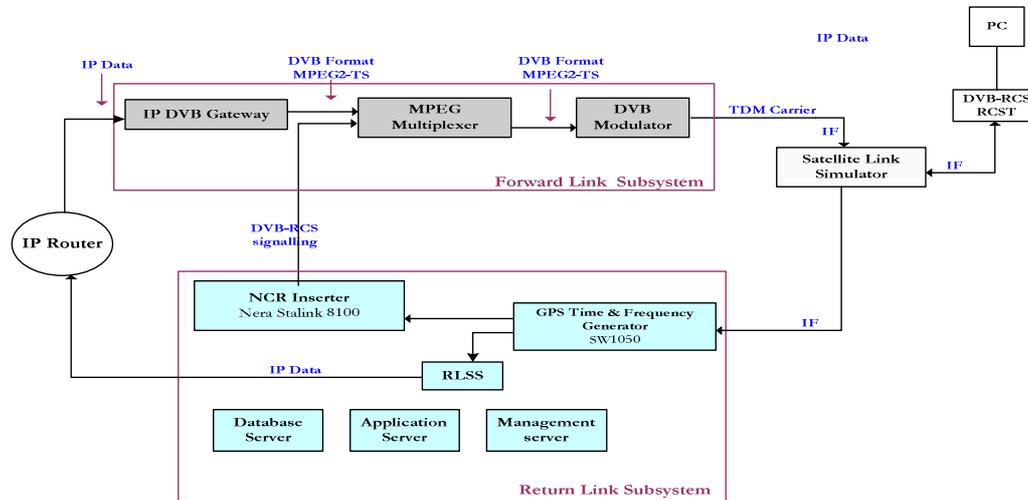


Figure IV.5 Architecture du Hub DVB-RCS

Ensuite et à l'entrée du multiplexeur, on retrouve deux flux MPEG en bande de base. Le premier est généré par la passerelle IP/DVB. Le second comporte l'ensemble de la signalisation DVB-RCS (figure 4.5)

¹⁰ La table NIT indique la structure physique du multiplex DVB (fréquence porteuse, taux de codage et type de modulation). Elle contient notamment la description et le nom du réseau DVB-RCS, données indispensables aux terminaux pour acquérir la signalisation RCS.

A la sortie un flux MPEG unique est ainsi formé et transmis au modulateur DVB où le signal est codé et modulé. A la sortie du modulateur, la porteuse TDM est ainsi formée et elle est transmise en bande L au simulateur du lien satellite.

Côté réception et de part la nature diffusante de la porteuse DVB-S, l'ensemble des terminaux la reçoivent. Ils accèdent aux cellules MPEG-TS identifiées par le PID données. Ensuite, c'est en accédant au champ MPE que les RCST peuvent savoir, en fonction de l'adresse MAC, si le trafic leur est destiné. Ce filtrage permet d'éviter de remonter au niveau IP et d'alléger par la même la charge de traitement côté RCST.

IV.2.4.1.1 Lien Retour

La procédure de connexion du terminal consiste en l'identification et l'authentification du terminal par le NCC. Durant cette phase de Logon le terminal s'authentifie avec son adresse MAC ainsi que 2 identifiants logiques (*Group_id* et *Logon_id*) [2]. Ces paramètres permettent au NCC de vérifier que le terminal appartient au réseau interactif DVB-RCS mais aussi de déterminer le niveau de service qui lui est attribué, les catégories de capacité radio à utiliser et le niveau de bande passante maximale à attribuer. Ces paramètres permettent d'associer le terminal à une super-trame donnée. Dans la cadre du réseau IP DVB-RCS, on ne dispose que d'un seul réseau interactif avec une seule configuration de super trame.

Le NCC communique aux terminaux, via les messages TIM, les PIDs à utiliser pour émettre du trafic sur la voie Retour. Dans notre cas, on dispose de deux PIDs. Ils caractérisent deux classes de trafic au niveau MAC à savoir *Best Effort* et *Real Time*.

Sur le lien montant ou Retour, le terminal joue le rôle d'un routeur d'accès et répartit le trafic selon les priorités. Les règles sont compatibles *Diffserv* et les flux IP sont répartis selon leur adresse IP source/destination et/ou port source et destination mais aussi la valeur du champ DSCP¹¹.

Ensuite les paquets IP sont encapsulés suivant le schéma MPE/MPEG (cf. figure 3.6). C'est le schéma d'encapsulation optionnel du standard qui est utilisé par le réseau DVB-RCS. Les paquets MPEG ainsi formés vont venir occuper les Time Slots trafic alloués par le NCC. Ils sont le résultat aussi bien d'une allocation statique par le NCC qu'une demande explicite du terminal.

IV.2.4.2 Qualité de service et allocation de ressources radios

La question de la disponibilité et de l'allocation de ressources se pose davantage pour le trafic montant et le lien Retour. Sa gestion est assurée par le NCC ; moins de ressources sont disponibles comparées au lien Aller DVB-S.

Dans le sens descendant (DVB-S) du trafic, et étant donné la bande passante disponible, l'ensemble des flux toutes priorités confondues va pouvoir être acheminé dans le respect des contraintes spécifiques à chacun. Une porteuse DVB-S peut atteindre 45 Mbit/s en débit MAC avant le codage canal.

Sur le lien Retour, le débit ne dépasse pas 2 Mbit/s par porteuse ce qui devient rapidement contraignant si on considère les dizaines de PCs et de téléphones IP qui forment le segment utilisateur et peuvent émettre simultanément.

Dans cette direction du trafic, le standard laisse ouverte l'implantation de la correspondance entre la qualité de service IP et l'allocation de ressources. Certes, DVB-RCS

¹¹ DSCP (*Diffserv Code Point*) ce sont les 6 premiers bits du champ TOS (*Type Of Service*) de l'en tête IPv4. Sa valeur détermine le niveau de priorité *Diffserv* à attribuer au service.

mentionne le recours à la politique *Diffserv* et dénombre les catégories radio (CRA, RBDC...). Cependant aucune indication n'est donnée quant à une éventuelle correspondance entre la QoS IP et les catégories de ressources radio.

Cette liberté représente, tout de même, un des principaux critères de performance du système sur la voie Retour. Une correspondance est établie entre les classes de service Diffserv, les capacités radio ou des combinaisons les associant et les algorithmes d'ordonnancement et de classification de flux. L'objectif est de garantir le respect des propriétés intrinsèques des flux IP véhiculés en fonction de leur tolérance au délai et à la gigue. Par ailleurs, *Satlabs* [3], l'organisme en charge du suivi et de la promotion du standard a publié un document [4] regroupant des recommandations spécifiant un nombre minimal de classes de services Diffserv à implanter ainsi que la manière avec laquelle il faudra les faire correspondre avec la capacités radio.

La figure 4.6 décrit la manière avec laquelle est établie la correspondance entre la classification QoS IP et l'ordonnancement niveau MAC. Suivant les critères de classification *Diffserv* définis par l'opérateur (numéros de ports, adresses sources et destination..), les flux IP sont répartis et classés selon leurs degrés de priorités respectifs. Au niveau MAC, cette répartition aboutit à deux catégories de trafic : temps réel et non temps réel.

Pour acheminer le trafic présent dans les files d'attente et dans le cas d'une allocation dynamique, le RRR (*Radio Resource Requester*) se charge d'évaluer la bande passante nécessaire compte tenu des priorités des flux avant de transmettre sa requête à la Gateway.

Côté NCC, l'entité RRA (*Radio Resource Allocator*) qui regroupe les fonctionnalités CAC et DAMA attribue les ressources dans la limite de la bande passante disponible pour le réseau, de celle qui est autorisée pour le terminal et établie dans le cadre du contrat de service *SLA*. Un BTP est ainsi formé et diffusé à l'ensemble des terminaux.

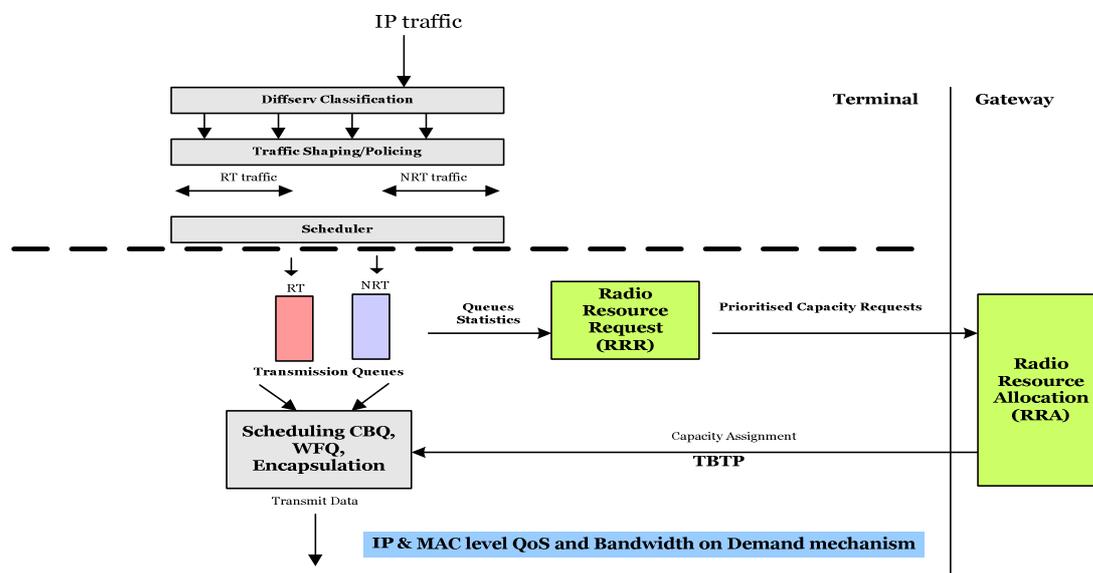


Figure IV.6 Bande passante à la demande

IV.2.4.3 Porteuses retour

Le BTP ainsi généré par le NCC est diffusé à l'ensemble des terminaux. Il définit de manière unique chaque Time Slot (nature, débit symbole, FEC, temps de début).

La durée d'une trame est confondue ici avec celle de la super trame et fixée à 120 ms. Sa structure est composée non seulement de *bursts* de signalisation CSC pour le logon, SYNC pour le maintien de la synchronisation et pour les demandes de ressources mais aussi de *bursts* de trafic.

A ce titre, plusieurs débits symboles sont proposés par le système (270 kS/s, 519 kS/s, 750 kS/s, 1200 kS/s). Les *bursts* de signalisation (CSC, SYNC) sont transmis via les porteuses ayant les débits symboles les plus faibles tandis que les plus élevés sont réservés exclusivement aux *bursts* trafic.

L'obligation d'utiliser des débits symboles faibles pour transmettre la signalisation constitue une limitation en soit. En effet, ceci plafonne le débit maximal qu'on peut atteindre pour une porteuse qui ne dépasse pas 900 kbit/s pour un débit symbole de 519 kS/s et ne permet pas d'optimiser la consommation de bande disponible qu'en maximisant le débit symboles des autres porteuses. Cela peut créer un déséquilibre notable entre porteuses. En plus et toujours avec le souci de ne pas gaspiller les ressources, on doit multiplexer la signalisation et le trafic sur ces porteuses à faible débit symboles. Nous sommes contraints dans ce cas à transmettre à faible débit.

C'est un autre exemple des aspects laissés ouverts par le standard DVB-RCS et qui a un impact sur la performance globale. En effet, la spécification ne recommande que le débit symbole le plus faible (270 ks/s) [5]. Les porteuses Retour sont ainsi définies par leur débit symboles.

Par ailleurs, le passage d'un débit symbole à un autre entre deux *bursts* adjacents constitue un autre critère de performance dans le sens où il implique un changement de fréquence (*Frequency Hopping*). C'est le terminal qui renseigne à la connexion via le *burst* de logon CSC sur sa faculté ou pas de changer rapidement de fréquence entre deux Time slots adjacents (*Fast Frequency Hopping*) ou non. Sinon, un intervalle minimal d'un time slot est nécessaire pour que le terminal puisse changer de débit symbole. La figure 4.7 est un exemple de la distribution des Time Slot au sein d'une super-trame.

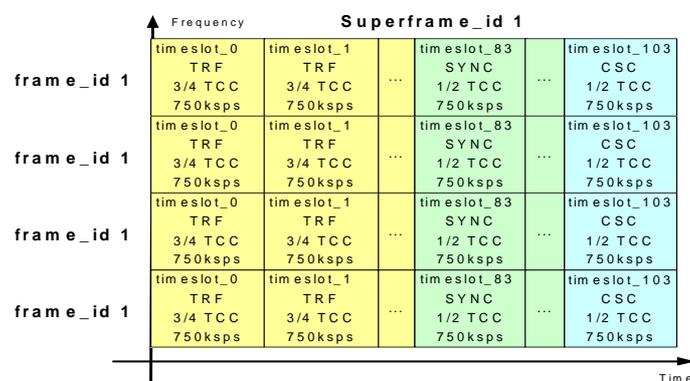


Figure IV.7 Répartition des Times Slots au sein des frames

IV.2.4.4 Le module d'accélération TCP et de chiffrement IPsec

La norme DVB-RCS n'aborde que la manière avec laquelle les paquets IP doivent être encapsulés et adaptés par les couches supérieures et acheminés via les ondes hertziennes.

La spécification ne traite pas des protocoles au-dessus d'IP tels que TCP, HTTP.... Néanmoins, il n'est pas envisageable sur le plan de la performance technique de concevoir un système IP DVB-RCS sans y intégrer des mécanismes d'amélioration du comportement de TCP sur satellite.

Actuellement, la plupart des systèmes DVB-RCS proposent des solutions PEP¹² intégrés à leurs systèmes et qui se présentent souvent sous forme de briques logicielles au niveau du terminal et de la Gateway. En revanche, cette prise en compte était relativement novatrice quand la plateforme IP DVB-RCS a été spécifiée. Seuls étaient disponibles des modules hardware sous *forme de boîtiers PC* qui même en compliquant l'architecture du système, demeurent indispensables à son bon fonctionnement.

Par ailleurs, dans un contexte d'un service destiné à des professionnels, il est nécessaire de mettre en place des mécanismes de chiffrement du trafic dans les deux directions du trafic. La solution PEP, que nous avons retenue, a l'avantage de pouvoir accélérer le trafic TCP entre les terminaux et la Gateway dans les deux sens du flux et de chiffrer les données en formant des tunnels IPsec sur le lien satellite par lequel transite tout le trafic.

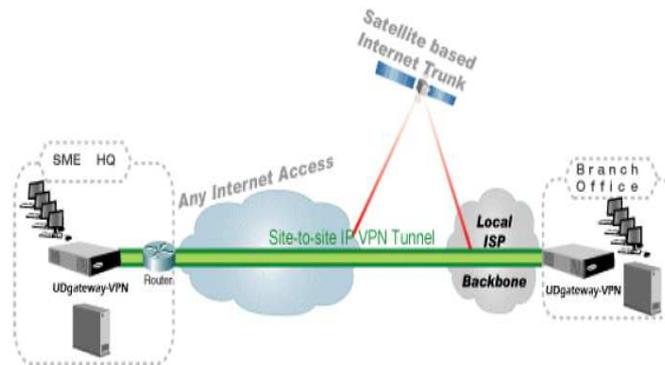


Figure IV.8 Solution d'accélération et de chiffrement (Source Udcast)

IV.2.4.4.1 Architecture du PEP

La solution de chiffrement IPsec et d'accélération TCP est une architecture type Client Serveur. Le module Client est placé en coupure avant le terminal DVB-RCS dans le sens retour du trafic. Le module Serveur est placé à la Gateway en coupure pour le trafic DVB-S et RCS comme le montre la figure 4.9.

La solution étant commerciale, certaines informations techniques sont nécessairement incomplètes, la description que nous faisons ici repose sur la documentation reçue et sur la compréhension acquise suite à l'utilisation des équipements.

IV.2.4.4.1.1 Accélération TCP

La solution d'accélération proposée est compatible avec la pile de protocole TCP/IP. Les PEPs placés de part et d'autre du lien satellite (un côté Hub et un côté terminal) procèdent en deux étapes. Dans un premier temps la session TCP entre un émetteur et un destinataire situés aux extrémités du lien satellite, est scindée en trois sessions TCP dont deux terrestres et une via satellite avec le TCP modifié implantant la RFC 3135 [6]. Les deux *proxies* PEPs assurent une fonction de *spoofing* en se substituant d'un côté et d'un autre du lien satellite à l'émetteur et au destinataire des paquets TCP.

¹² Le terme PEP désigne généralement une solution d'accélération TCP. Dans notre cadre, il désigne en plus une solution de chiffrement IPsec.

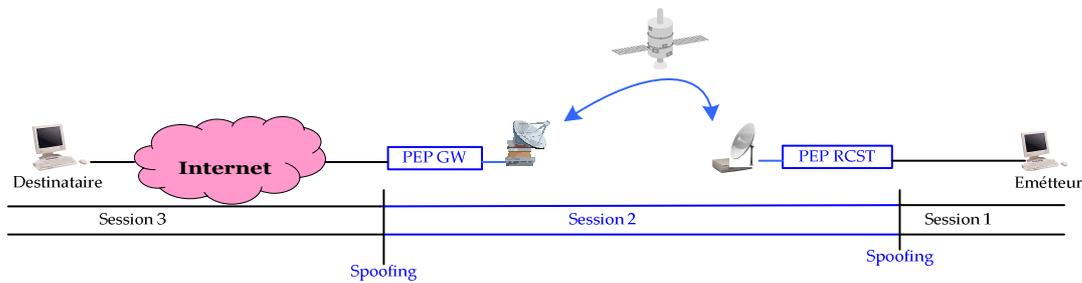


Figure IV.9 **Spoofing sur le lien satellite**

La figure 4.9 illustre un exemple de fonctionnement du *spoofing*. Côté terminal, c'est le PEP RCST qui envoie les acquittements à l'émetteur à la fréquence habituelle simulant, par la même, un comportement standard de TCP. Côté Gateway, le PEP GW reçoit les acquittements reçus du destinataire.

Sur le lien satellite, la session observe un comportement non standard de TCP mais transparent pour l'émetteur et le récepteur final. Les *proxies PEP* implantent un ensemble de techniques qui atténuent la dégradation des performances du protocole TCP sur satellite :

- Une augmentation de la taille de la fenêtre initiale afin de réduire dans le temps l'intervention de l'algorithme *Slow Start* préjudiciable à la bande passante [7].
- L'atténuation des effets de l'asymétrie des liens en augmentant la taille des segments TCP (*MSS*), la réduction de la fréquence des accusés de réception en introduisant un intervalle de temps minimal entre deux acquittements consécutifs... [8].
- L'estimation de la valeur du RTO (*Retransmission Time Out*) sur la base du délai RTT satellite 500 ms.
- Le recours aux acquittements sélectifs SACKs. Ainsi les émetteurs ne réexpédient que les blocs non reçus et évitent le recours à l'algorithme de *Slow Start*.
- L'usage des acquittements sélectifs qui n'indiquent à l'émetteur que les blocs reçus correctement et lui permettent de ne réexpédier que les blocs qui n'ont pas été correctement transmis [9].

IV.2.4.4.1.2 Les Tunnels VPN

La solution PEP retenue rend possible la transformation du réseau IP DVB-RCS en un réseau VPN. Elle garantit, en parallèle à l'accélération TCP, une transmission sécurisée des flux IP sur les liens satellite Aller et Retour. Ainsi entre la Gateway et chaque terminal, un tunnel VPN est établi (figure 4.10). Cette solution repose sur l'utilisation du protocole IPsec (IP Security) en mode tunnel entre le terminal RCS et la Gateway.

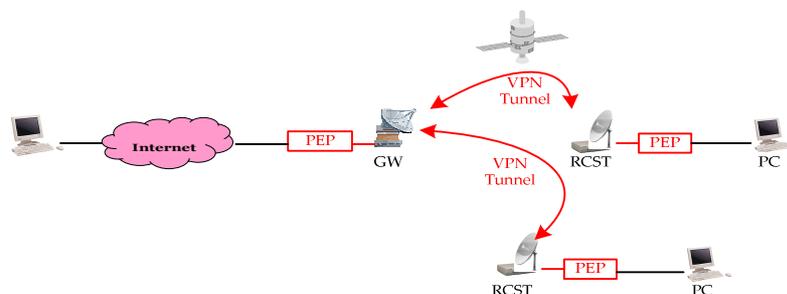


Figure IV.10 **Tunnel VPN & accélération TCP**

IPsec [10], permet de sécuriser les échanges au niveau de la couche réseau. Il assure l'intégrité, la confidentialité et l'authentification des données en plus de la protection anti rejeu.

Afin de mettre en place les tunnels entre le RCST et la Gateway, la solution PEP a recours au mécanisme ESP (*Encapsulation Security Payload*) d'IPsec. Ce dernier garantit la confidentialité et l'authentification des données. Le principe d'ESP [11] est de générer à partir d'un datagramme IP classique, un nouveau datagramme dans lequel les données et l'en-tête sont chiffrés.

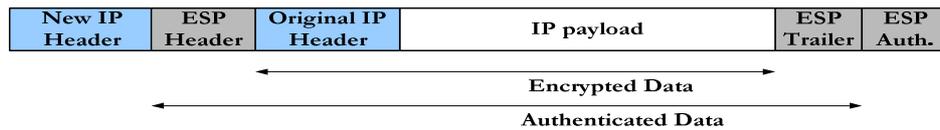


Figure IV.11 Chiffrement IPsec ESP en mode Tunnel

Dans ce mode de chiffrement, les deux *proxies* PEP aux deux extrémités du lien satellite se substituent aux deux entités qui communiquent. Ce sont les adresses IP des *proxies* qui sont mentionnées dans l'en-tête du paquet IP après application du protocole ESP.

IV.2.4.4.1.3 Association de sécurité et gestion des clefs

Pour sécuriser les paquets IP, ESP fait appel à des techniques de cryptographie dont les attributs (algorithmes de chiffrement, clefs...) doivent être connus par les entités qui communiquent via IPsec afin qu'elles puissent se mettre d'accord. Une association de sécurité SA (*Security Association*), permet de gérer ces paramètres. C'est une « connexion » unidirectionnelle qui fournit des services de sécurité aux données qu'elle transporte. Les associations de sécurité sont aussi le résultat de la négociation des paramètres de sécurité (Algorithmes de chiffrement, clefs...). Une association de sécurité est identifiée d'une manière unique par le triplet

- Adresse de destination des paquets chiffrés, en l'occurrence le proxy PEP de l'autre côté du lien satellite.
- Identifiant du protocole de sécurité (AH ou ESP) ;
- Indice des paramètres de sécurité SPI (*Security Parameter Index*) ;

L'association de sécurité contient également

- Les clefs et les algorithmes de chiffrement utilisés par ESP ;
- Les clefs ainsi que les fonctions de hachages nécessaires à l'authentification des paquets.

Pour un fonctionnement standard d'IPsec, les associations de sécurité et en particulier les clefs de chiffrement sont gérés dynamiquement. Ce mode de gestion permet non seulement d'assurer une bonne fréquence de renouvellement des clefs mais simplifie le passage à l'échelle à mesure que le nombre de tunnels IPsec dans le réseau croît. L'IETF a retenu le protocole de niveau applicatif IKE (*Internet Key exchange*) [12] pour assurer une gestion dynamique des associations de sécurité.

Ce mode de gestion est certes efficace. Cependant, il pose des contraintes considérables quand il est implanté dans des tunnels IPsec par satellite. Le protocole IKE dédié aux communications Unicast ne permet pas d'exploiter le caractère de diffusion d'une porteuse DVB-S. Aussi, le rafraîchissement des clefs et plus généralement des associations de

sécurité entre deux entités séparées par un lien satellite subit l'impact des délais. Pendant ce temps, le tunnel VPN n'est pas opérationnel, ces délais constituent un préjudice notable à la disponibilité du lien et par conséquent à la performance du réseau.

Par ailleurs, plusieurs travaux proposent des adaptations et des améliorations du protocole IPsec sur lien satellite [13] avec des propositions pour une sécurisation des données unicast et multicast. Dans notre cas, la gestion des associations de sécurité est statique. En effet, le choix du numéro SPI des algorithmes de chiffrement et d'authentification utilisés par ESP ainsi que leurs clés est effectué et configuré statiquement par l'opérateur du réseau. Il est clair qu'on privilégie, dans ce cas de figure, un tunnel VPN opérationnel en permanence au dépend d'un niveau de sécurité élevé qu'aurait apporté un rafraîchissement dynamique et fréquent des clés. Un opérateur satellite d'un réseau IP DVB-RCS peut gérer une politique statique de gestion de clés d'autant plus que le nombre de tunnel ne serait pas aussi important que pour un réseau terrestre.

Le tunnel VPN IPsec est établi entre deux *proxies* PEP disposant de la même association de sécurité statique. Les *proxies* constituent un goulet d'étranglement autant pour le flux IP Aller que celui à l'entrée du RCST dans le sens Retour du lien satellite. Dans les deux directions du trafic, la totalité des flux passe par le *proxy* PEP et transite par le tunnel VPN. A ce titre et avant de chiffrer les paquets IP, le PEP joue le rôle d'un routeur d'accès et assure ainsi des fonctions de QoS en répartissant le trafic IP selon les règles compatibles *Diffserv* définies par l'opérateur.

L'accélération TCP a naturellement lieu avant le chiffrement IPsec puisque l'en-tête TCP d'un paquet entièrement crypté devient inaccessible. Ceci a l'inconvénient d'affecter les performances des tunnels IPsec de bout en bout entre un PC hôte sur le LAN et une autre station sur Internet. En effet, les paquets IP déjà chiffrés transitant par le tunnel VPN entre les deux *proxies* ne sont pas accélérés puisque leurs en-têtes chiffrés sont inaccessibles. La figure 4.12 donne un aperçu de la pile protocolaire du système IP DVB-RCS pour une application client serveur de bout-en-bout

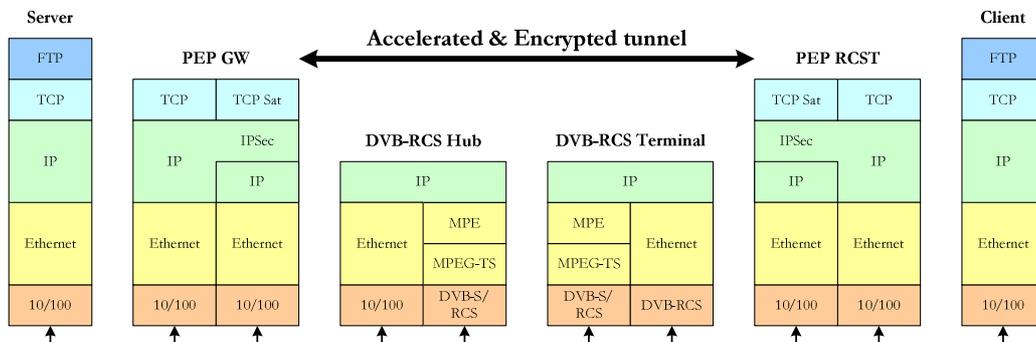


Figure IV.12 Pile de protocole DVB-RCS & Accélération TCP et Chiffrement

IV.2.4.5 Le système VoIP

Pour son utilisation professionnelle, la plateforme que nous avons mise en œuvre, se doit de proposer des services type VoIP en plus des applications classiques d'échanges de données sur Internet (Web, e-mail, FTP...)

Bien que très déployée dans les réseaux terrestres, la qualité de service de la VoIP par satellite fait partie des défis de la plateforme IP DVB-RCS que nous avons intégrée. Cela est dû à diverses raisons : aux délais incompressibles, à l'obligation pour les opérateurs de mettre en place une politique de QoS efficace pour atténuer « l'effet satellite », à des choix

système nécessaires à une consommation optimisée de la bande passante statique et dynamique.

Le besoin d'une solution de VoIP sur satellite pour les clients potentiels est réel quitte à se satisfaire d'une qualité inférieure à celle des réseaux terrestres. Ce besoin s'explique par la réduction considérable de coût qu'entraîne la mutualisation des infrastructures pour le transport des données (email, Internet, transferts de fichiers..) et la téléphonie (Voix, vidéo) au sein d'un réseau unifié fondé sur le protocole IP. Ils peuvent alors s'affranchir des moyens de communications (téléphonie fixe GSM et autres). Ceci est un avantage indéniable compte tenu des zones géographiques où sont situés ces clients et pour lesquelles la disponibilité des réseaux n'est pas garantie.

Par conséquent, l'objectif est de fournir une solution de téléphonie sur IP professionnelle. Elle se doit d'assurer la gestion des appels à l'intérieur du réseau IP par satellite mais surtout une passerelle vers les réseaux téléphoniques extérieurs RTC et GSM.

Plus particulièrement le système de VoIP intégré au réseau IP DVB-RCS se compose de :

- Un PABX (*Private Automatic Branch eXchange*) Open Source fondé sur la technologie Asterisk [14]. Situé au niveau de la Gateway, il regroupe l'ensemble des fonctionnalités requises pour un usage professionnel comme la messagerie unifiée, le répondeur... De plus, il s'interface avec les réseaux de téléphonie extérieurs GSM et PSTN. Tout de même, sa fonction principale consiste à gérer les appels entrants et sortants au sein même du réseau.
- Un ensemble de téléphones et de soft phones IP situés au niveau des segments utilisateurs.

La plateforme IP DVB-RCS est destinée à acheminer une multitude d'applications à base d'IP. Pourtant, les choix de configurations aussi bien au niveau de la QoS IP que des stratégies d'allocation des ressources radios sont déterminées en fonction du niveau de performance que doit avoir le système pour la VoIP. En effet, c'est une application à fortes contraintes temporelles, qui est de surcroît acheminée par satellite. En plus, c'est une application dont les dégradations de performance sont immédiatement perceptibles par les utilisateurs finaux. La partie suivante, introduit les concepts de base de la VoIP. Même s'ils sont largement connus et abondamment documentés, ils seront utiles pour l'interprétation de résultats de tests.

IV.2.4.5.1 Les caractéristiques de la VoIP

La voix sur IP est une application temps réel dans le sens où le signal doit être restitué à un instant aussi proche que possible de celui où il a été généré. Ce caractère particulier redouble d'importance sur un réseau IP par satellite en raison des délais d'acheminement des paquets dont certains incompressibles. A ce titre, l'opérateur se doit de prendre les décisions de configuration nécessaires pour un compromis entre une utilisation efficace de la bande passante et la restitution d'une voix de qualité acceptable pour l'utilisateur final.

Ces choix portent aussi bien sur l'application elle-même que sur le paramétrage du réseau satellite. En effet, au niveau de l'application, le choix des algorithmes de compression de la voix (Codecs) de la durée, du nombre d'échantillons et de la taille des paquets à générer ont un impact direct sur la consommation de la bande passante.

Au niveau du réseau, les décisions portent sur la stratégie d'allocation de bande passante (dynamique et statique) à adopter et sur la QoS IP qui assurera une priorité pour la voix tout en répartissant équitablement les ressources entre les différentes applications.

Pour cela il est intéressant de comprendre comment les paquets VoIP sont générés pour déterminer les paramètres sur lesquels l'opérateur doit agir et améliorer les performances des applications sur son réseau.

IV.2.4.5.1.1 Traitement de la VoIP

La première étape de traitement de la voix consiste en une numérisation du flux de paroles et sa compression via un codec. La bande de fréquences audibles par l'oreille humaine s'étend de 300 Hz à 3400 Hz. Le signal est donc échantillonné à 8kHz (théorème de Shannon). Chaque échantillon est ensuite codé sur 8 bits conformément à la norme Européenne pour un débit final de 64 kbit/s.

Les codecs (compresseur-décompresseur) interviennent dès lors afin de réduire ce débit et par conséquent la bande passante nécessaire. Ils sont définis par le débit à la sortie du codeur et la durée de la trame voix qu'ils génèrent. La qualité de la voix restituée par un codec est évaluée par l'intermédiaire du MOS¹³

Avant d'être encapsulé dans des paquets IP et adaptées au support physique du lien satellite via MPE/MPEG, le protocole RTP (*Real Time Protocol*) [15] doit au préalable remédier aux lacunes des réseaux IP dans la gestion des flux temps réel. Il s'agit d'un protocole de transport non fiable, dédié aux flux continus de données (audio, vidéo principalement), et fonctionnant en point-à-point ou en multipoint sur un réseau IP. Comme les paquets peuvent être perdus, dé-séquencés, dupliqués, ou simplement retardés, chaque paquet RTP renferme dans son entête de 12 octets des informations de type numéro de séquence et estampille temporelle, permettant au récepteur de déceler une perte ou un retard trop important, et ainsi de jouer correctement le flux de données à l'arrivée. Les estampilles temporelles sont utilisées à la fois pour la synchronisation intra-flux, la détermination des instants de jeu de chaque paquet de données ainsi qu'à la synchronisation inter-flux, qui met en jeu les éventuelles relations temporelles entre plusieurs flux.

Le caractère temps réel de la VoIP implique le recours au protocole UDP (*User Datagram Protocol*) pour la transmission des paquets RTP. En effet, les mécanismes de contrôle de flux et de recouvrement de pertes en font un protocole inadapté au transport de la VoIP. Elles sont préjudiciables à la VoIP application à débit constant et dont la performance est principalement définie par la réduction et la régularité des délais de transmission.

IV.2.4.5.1.2 Le contrôle des sessions VoIP

En parallèle à RTP, un protocole de contrôle des sessions VoIP est indispensable afin d'en organiser le développement. Le protocole SIP (*Session Initiation Protocol*) [16] s'est imposé comme le protocole de signalisation de la VoIP par excellence. Bien que pour des raisons historiques, la pile de protocole H.323 soit implantée dans plusieurs solutions de VoIP, SIP est de plus en plus utilisé. SIP découle d'une approche dédiée à la signalisation téléphonique sur Internet spécifiée par l'IETF. C'est un protocole de signalisation pair à pair appartenant à la couche application du modèle OSI et s'inspire du protocole HTTP. Son rôle est d'ouvrir, modifier et libérer les sessions (notification de l'appelé par l'appelant, négociation des paramètres de la session comme les codecs, les adresses sources et destination...).

¹³ Le MOS (*Mean Opinion Score*) est une appréciation subjective de la voix selon certains modèles définis par l'ITU [17]. Elle établit un coefficient de qualité ascendant sur une échelle de 1 à 5.

IV.2.4.5.1.3 Métriques d'évaluation de la VoIP

Les critères ci-dessous permettent d'évaluer la qualité des communications VoIP. Ils sont d'autant plus nécessaires lorsque la VoIP est acheminée par satellite.

- **Le délai** : c'est le temps nécessaire pour le traitement et l'acheminement d'un paquet voix de source à destination. Il regroupe les temps de traitement et de propagation dominés par la durée de la traversée terre-satellite. La recommandation G.114 de l'ITU [18] suggère entre 200 et 350 ms de délai unidirectionnel pour les communications par satellite.

- **La gigue** : une estimation statistique de la variance de temps d'arrivée inter-paquets. Une gigue excessive combinée à un buffer réduit peut conduire à une distorsion de la voix à la restitution. Pour une communication de qualité moyenne la gigue est estimée à 60 ms et à 20 ms pour une communication de bonne qualité.

- **La perte de paquets** : est due à un délai ou une gigue excessifs ainsi qu'à du bruit ou des interférences sur le lien satellite. La perte de quelques bits ou d'un paquet demeure indétectable dans le cas d'une communication VoIP. Toutefois, si le phénomène s'amplifie, il cause des trous perceptibles dans la communication. Le taux de perte doit rester inférieur à 5% pour une communication de qualité moyenne et inférieure à 1% pour une communication de bonne qualité.

En plus des métriques ci-dessus, le débit reste un élément principal pour apprécier la qualité de VoIP, spécialement dans un contexte satellite. Le débit IP nécessaire à une communication VoIP dépend directement de celui du codec utilisé. A ce titre, il est nécessaire de trouver à chaque fois le compromis nécessaire entre une bonne qualité de la voix et un débit minimal du codec. Le tableau I ci-dessous donne un aperçu des caractéristiques des différents codecs utilisés pour les communications VoIP par satellite.

Codec	Voice frame duration (ms)	Bit rate (Kbps)	MOS
G.711	125	64	4,1
G.729	10	8	4
GSM	20	13,2	3,7
G.723	30	5,3	3,5
G.723	30	6,3	3,5

Tableau IV-1 Principaux codecs utilisés pour les communications VoIP par satellite¹⁴

¹⁴ Les valeurs du MOS peuvent légèrement varier d'une technique d'estimation à une autre.

IV.2.5 Architecture finale de la plateforme

La figure 4.13 donne un aperçu de l'architecture de la plateforme IP DVB-RCS, une fois la phase d'intégration achevée. Le réseau IP DVB-RCS comprend la Gateway et 4 terminaux. Ce nombre limité apporte toutefois une représentativité suffisante d'un réseau opérationnel. De plus, il apporte du réalisme aux tests effectués. Il permet d'illustrer le fonctionnement de l'ensemble de la chaîne ainsi que de tous les mécanismes mis en œuvre. La présence ou non des PEP dépend également de la nature des tests à faire.

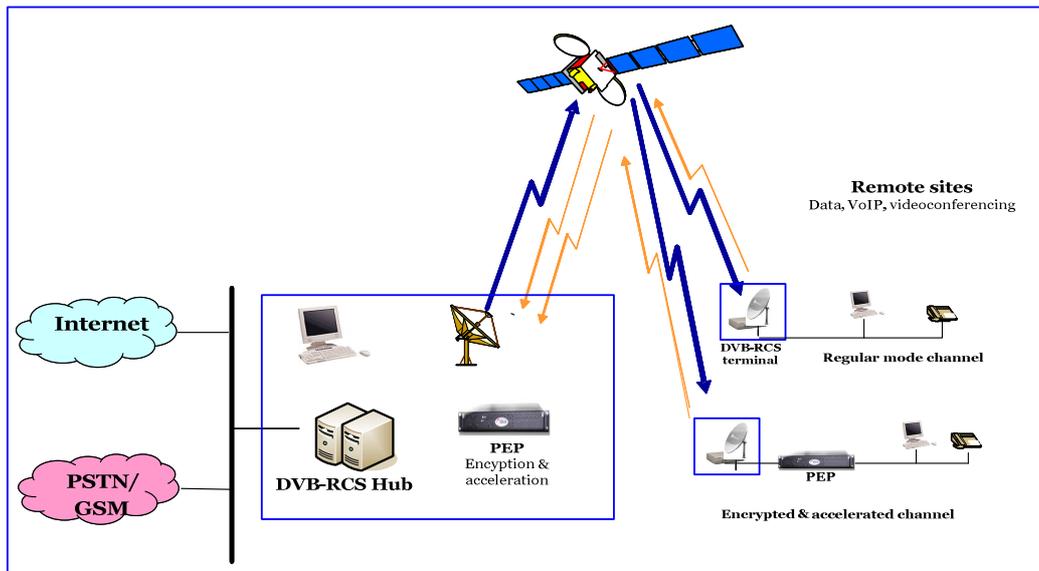


Figure IV.13 Architecture générale de la plateforme IP DVB-RCS

IV.3. Expérimentations, résultats et analyses

Nous avons adopté dans notre description de la plateforme IP DVB-RCS une approche analogue, dans son principe, à la perception des sous-systèmes (DVB-RCS, PEP, VoIP) la composant. Elle se réduit d'une manière générale à une vue centrée sur le mode de fonctionnement d'une technologie donnée et dissocié du système dans lequel elle est intégrée.

Après la phase d'intégration, vient celle de l'observation et de l'évaluation du comportement des applications IP que nous désirons acheminer à travers le réseau IP DVB-RCS. Cette observation renseignera sur la possibilité ou non de fournir certains services mais aussi sur les moyens que nous pouvons mettre en place pour en améliorer les performances. Nous avons donc envisagé certains contextes de fonctionnement et mis en place les scénarios de tests qui les illustrent.

Parmi le panel d'applications IP proposées (FTP, web..), la VoIP reste un service économiquement rentable pour un opérateur de réseau et crucial pour un client disposant de ce genre de réseau IP par satellite pour ses activités.

D'un point de vue technique, l'application VoIP influe sur les choix d'un opérateur aussi bien sur le plan de la répartition et l'allocation de la bande passante que sur celui de la qualité de service IP.

Nous avons donc décidé de porter notre intérêt, lors de nos tests, sur l'application VoIP dans un contexte de trafic mixte. Nous abordons plusieurs aspects : l'impact de la VoIP sur les flux concurrents de plus basses priorités, le coût en bande passante qu'engendre son

acheminement par satellite, l'effet de la stratégie d'allocation de ressources sur ses performances. Ces expérimentations portent aussi sur l'avantage potentiel que procurerait le chiffrement de la voix par IPsec. Dans notre analyse, l'accent sera mis sur le comportement de la voie Retour pour les raisons de disponibilité de ressources sur la voie Aller évoquées précédemment.

La démarche expérimentale et les interprétations des différents résultats sont l'objet de la présente section.

IV.3.1 Pour un service VoIP sur DVB-RCS de bonne qualité

Le contexte de transmission IP par satellite diffère de celui d'un réseau terrestre pour les raisons détaillées dans les chapitres précédents. Ceci est encore vrai si on veut transmettre de la voix. Une VoIP de bonne qualité sur un réseau DVB-RCS passe par une stratégie optimisée d'allocation de bande passante et une réduction au mieux du délai de transmission en plus d'une QoS IP qui rend prioritaire la voix et minimise le temps de passage par les files d'attente réduisant ainsi la gigue. Néanmoins, les délais d'acheminement de la VoIP sont bornés par le temps de transmission incompressible entre la terre et le satellite. Il devient donc crucial de prendre les décisions nécessaires au niveau :

- De la QoS IP afin de réduire les variations de délais et traiter les flux IP en fonction de leurs priorités respectives.
- De la stratégie d'allocation de bande passante qu'elle soit statique ou dynamique afin de rendre disponible les ressources aussi rapidement que possible.
- De l'utilisation du segment spatial car étant donné la taille réduite des paquets IP, il convient d'étudier au préalable le coût qu'entraînent les encapsulations successives et le moyen de les optimiser.

La principale difficulté, quand on procède à la configuration du réseau IP DVB-RCS réside justement dans son caractère modulaire. Il est, en effet, composé, d'un ensemble de sous-systèmes, chacun pouvant fonctionner d'une manière indépendante. Les choix de configuration portent sur un niveau ou un équipement particulier. Il est tout de même nécessaire d'être conscient de l'impact de ce choix sur les autres parties du réseau puisque l'objectif demeure une performance du système dans sa globalité.

IV.3.1.1 Allocation de bande passante et qualité de service IP pour la VoIP

Nous avons évoqué lors des précédents chapitres la dé-corrélation qui existe entre la qualité de service IP et les ressources au niveau MAC pour les réseaux satellites. La transmission de la VoIP sur DVB-RCS est une illustration concrète du problème. Afin d'en atténuer l'effet, on se doit de prendre en compte un certain nombre de critères pouvant être résumés comme suit.

- Les ressources doivent être disponibles en permanence et ce même en cas de congestion du réseau. La QoS IP assure certes un traitement prioritaire de la voix mais ne garantit en aucun cas la disponibilité des ressources radios. L'effet – indésirable – que peut avoir la variabilité des ressources sur la VoIP, application à débit constant, est une fluctuation des délais et par conséquent une augmentation de la gigue.

- Il faut veiller à ce que la bande passante allouée n'excède pas les besoins du terminal pour éviter un gaspillage inutile. Elle doit notamment être disponible en un minimum de temps. Une allocation exclusivement dynamique avec un RTT (*Round Trip Time*) assez long peut non seulement dégrader la communication surtout au début voir empêcher son établissement si certains protocoles de signalisation tels que H.323 ne s'en accommodent pas.
- La façon avec laquelle sont attribuées les ressources doit garantir une transmission de qualité. L'allocation doit avoir un rythme régulier dans le temps avec une répartition homogène des slots. L'effet d'une allocation en rafales est à éviter pour la voix. Ceci permet d'assurer un débit constant mais aussi des intervalles de temps réguliers entre les slots et par conséquent une gigue minimale. De ce fait, les allocations en volume (type VBDC) ne sont pas à recommander pour la transmission de la voix.

En raison du coût élevé et parfois prohibitif de la bande passante satellite, une allocation dynamique à débit constant et garanti type RBDC pour la VoIP est privilégiée. Cependant, une allocation dynamique n'a pas lieu sans un certain coût. Il faut en effet tenir compte du temps nécessaire au terminal d'évaluer le volume de trafic à écouler, d'envoyer la requête et d'attendre l'attribution des slots par le DAMA. Cet échange dure au moins un RTT ce qui allonge le temps d'établissement de la communication et retarde l'émission du premier paquet voix sur la voie retour. Avec un scénario d'allocation exclusivement dynamique, une augmentation brusque du volume de trafic de façon à ce qu'il excède les ressources allouées est également envisageable.

L'hypothèse selon laquelle on assisterait à un grand nombre de communications qui débuteraient au même instant est peu probable. Il y a toujours de brefs instants de décalage entre les instants de démarrage des communications ou plus généralement les temps d'arrivée des paquets VoIP au terminal sur le lien montant. Ceci atténue une montée brusque et agressive du volume de trafic à écouler.

En revanche, ce scénario devient réel si le codec VoIP utilisé intègre la fonctionnalité de suppression de silence¹⁵. En effet, la suppression de silence implique une baisse de la demande en bande passante en période d'inactivité de la voix – de silence- avant de recroître lorsque la parole reprend. Au moment de la reprise de la parole, la taille des buffers des paquets voix au niveau des terminaux augmente dans l'attente des ressources nécessaires à les écouler. Durant ces périodes de transition, les buffers des paquets voient leur taille varier constamment. Ceci implique naturellement de la gigue dégradant par la même la qualité de la voix.

Nous avons fait le choix de ne pas recourir à cette fonctionnalité dans nos tests en raison des arguments présentés ci-haut et afin de réduire les incertitudes pour une plateforme IP DVB-RCS déjà suffisamment complexe de part sa modularité.

¹⁵ Il est statistiquement prouvé que 60% du temps de communications voix consiste en de longues et petites périodes de silence. Une fonctionnalité de détection d'activité de la voix VAD (*Voice Activity Detection*) intégrée au codec permet de réduire la consommation en bande passante en générant du bruit blanc.

Une autre option peut se présenter lors des choix des allocations de bande passante. Dans le but d'atténuer les effets négatifs d'un schéma d'allocation dynamique sur la qualité de VoIP, certains opérateurs privilégient une combinaison entre capacité statique et dynamique en ayant recours au débit garanti CRA. Nous trouvons cependant que cette stratégie atteint rapidement sa limite dès que le nombre de terminaux croît. Pour un réseau comptant 500 terminaux, prévoir 16 kbit/s de CRA à chaque terminal revient à leur réserver en permanence 8 Mbit/s de bande passante qu'elle soit utilisée ou non. Ceci revient à bloquer plus d'un cinquième des ressources d'un transpondeur de 36 MHz !

Il nous a semblé judicieux de recourir à un schéma d'allocation exclusivement dynamique. Un débit constant et garanti via RBDC permet d'écouler le trafic VoIP qui dispose de la plus haute priorité au sein du réseau. La bande passante attribuée en volume via VBDC ou AVBDC servira à écouler les autres types de trafic de priorité plus basse (transferts de fichier, navigation Web...) généralement de caractère sporadique (*bursty*). Ces ressources serviront notamment à atténuer les effets négatifs sur la transmission de la voix durant les périodes où les flux VoIP augmentent.

Naturellement, à l'instar des différents choix de configuration, cette stratégie n'est pas la seule solution. Elle a été prise en fonction des caractéristiques de la plateforme mais aussi en raison de la priorité accordée aux ressources radios au détriment d'une mauvaise qualité passagère et éventuelle de la communication VoIP.

Cela dit, la qualité de la VoIP sur DVB-RCS ne dépend pas uniquement de la stratégie d'allocation de bande passante. Le choix du codec c'est-à-dire son débit de sortie, la durée d'un échantillon voix, la manière avec laquelle il sera encapsulé dans les couches protocolaires successives avant d'accéder au canal satellite, ont un impact sur la consommation de la bande. Un paramétrage adéquat est donc nécessaire.

IV.3.1.2 Configuration des codecs VoIP

L'autre volet de configuration intervient sur l'application VoIP en elle-même et concerne aussi bien le choix d'un algorithme de compression adéquat (codecs), le nombre d'échantillons voix à inclure dans un paquet IP que la compression des en-têtes IP, UDP ou RTP.

En considérant des facteurs de qualité MOS équivalents généralement entre 3,5 et 4,5, on privilégie les codecs ayant des débits de sortie peu élevés comme G.723 (6,3 Kbit/s) ou G.729 (8 kbit/s) mais également dont la durée des trames voix est réduite.

Si on considère un codec tel que G.711 (64 kbit/s et 125 ms de durée de trame) qui n'intègre quasiment pas de mécanismes de compression de voix, on aboutit à un débit IP de 130 kbit/s. Cette valeur ne résiste pas au passage à l'échelle puisque rien que pour établir 10 communications simultanées sortantes il faudra prévoir plus de 1,3 Mbit/s de débit. D'autre part, la durée d'échantillonnage de ce codec équivaut à elle seule à un temps de traversée terre-satellite ce qui allonge considérablement le délai de transmission global.

Une fois le codec choisi, le nombre de trames voix à encapsuler dans un paquet RTP détermine la manière avec laquelle la bande passante est consommée par rapport au ratio données utiles et en-têtes.

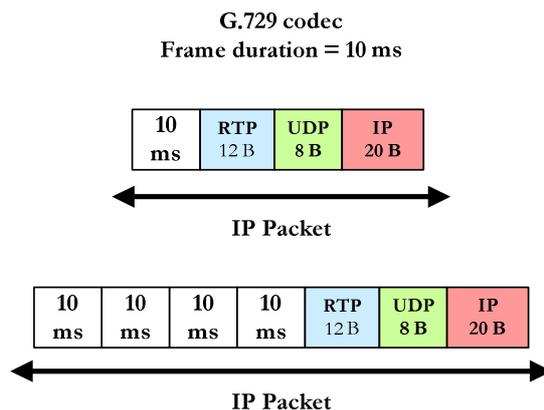


Figure IV.14 Encapsulation RTP, UDP, IP

A titre d'exemple, considérons le codec G.729 avec un débit de 8 kbit/s et une durée de trame élémentaire de 10 ms. Si on encapsule une seule trame voix (10 octets) dans un paquet IP et en ajoutant les en-têtes RTP, UDP et IP (40 octets) au niveau IP, seul le quart (1/4) du paquet représente des données utiles par rapport à la taille totale. Si on compte en plus les en-têtes introduits par les différents niveaux d'encapsulation du standard DVB-S ou DVB-RCS ce ratio va encore décroître.

Qu'il contienne un ou plusieurs échantillons voix, un paquet RTP requière toujours le même nombre d'octet d'*overhead*, la solution consisterait à inclure plusieurs échantillons voix afin de rééquilibrer la répartition entre les données utiles et les en-têtes. Pour l'exemple, avec G.729, 4 échantillons voix d'une durée totale de 40 ms, le rapport charge utile en-tête devient équilibré au niveau IP. Toutefois, les en-têtes occupent plus de bande passante au fur et à mesure qu'on avance dans les couches d'encapsulations DVB-RCS surtout si l'option *Section Packing* n'est pas activée et que du bourrage est introduit au niveau MPEG-TS. Le schéma (figure 4.14) illustre l'exemple que l'on vient de donner.

Cela dit, l'efficacité de cette technique est relative. Elle dépend du degré de granularité des échantillons offerte par le codec. Si G.729 apporte un certain confort avec une durée de trame de 10 ms, ce n'est pas forcément le cas pour d'autres codecs comme G.723 avec 30 ms de durée d'échantillons. Au-delà, d'un certain nombre de trames voix, le temps nécessaire pour générer ces échantillons commence à se ressentir sur le délai de transmission global en plus d'une dégradation sensible sur la qualité de la communication. Une autre manière de réduire l'*overhead* introduit par IP est apportée par les techniques de compression d'en-tête au niveau IP comme la compression cRTP [19]. Cela ramène la taille globale (RTP+UDP+IP) d'un paquet VoIP de 40 à environ 12 ou 10 octets selon les cas. Ces mécanismes qui interviennent au niveau IP ne sont pas prévus dans le standard DVB-RCS.

IV.3.1.3 Coût d'encapsulation

Dans ce qui suit nous illustrons par un exemple, l'impact significatif que peut avoir les encapsulations successives avec l'ajout systématique d'un en-tête sur l'utilisation de la bande.

Nous établissons une estimation du ratio charge utile et en-têtes pour un paquet VoIP tels que nous l'avons paramétrés sur la plateforme IP DVB-RCS (codec, nombre d'échantillons...). Le digramme figure 4.15 décrit dans les détails, respectivement la formation des paquets VoIP avec un codec GSM (13,2 Kbit/s et 20 ms), le chiffrement AES-

CBC¹⁶ (128 bits), l'ajout de l'en-tête ESP et l'encapsulation dans le nouveau datagramme IP avec les adresses sources et destination des PEP.

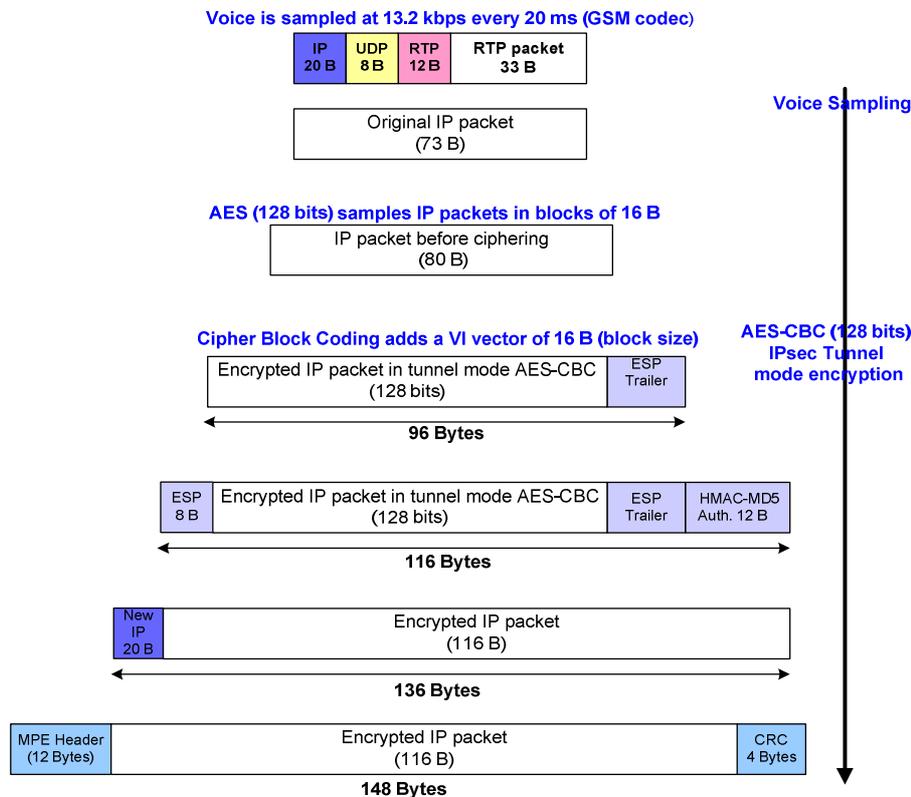


Figure IV.15 Etapes d'encapsulation successives IPsec, MPE, MPEG

Considérons une seule trame voix par paquet IP, et pas de compression d'en-tête, et examinons le rapport entre données utiles et taille totale du paquet transmis. A titre d'exemple, pour 33 octets utiles, au niveau MPE, 148 octets sont requis ce qui présente un rapport de 22% !

IV.3.1.4 Conclusion

Durant cette phase de configuration, plusieurs facteurs entrent en ligne de compte et ont ainsi une incidence sur les performances du système IP DVB-RCS. Ces choix, dépendent de l'efficacité des interactions entre les sous-systèmes, des possibilités offertes par une plateforme modulaire et complexe et peuvent parfois produire des résultats inattendus. Cela dépend également de l'ordre de priorités accordées aux applications d'un point de vue opérateur. Ceci se transcrit techniquement en termes de niveau de service, de volume global de flux et de taille du réseau. C'est aussi fonction de l'importance accordée aux ressources par rapport au niveau de qualité exigé ou au degré de confidentialité des données. Dans la partie qui suit, nous présentons les tests effectués sur le système IP DVB-RCS en fonction des paramètres que nous avons jugé prioritaires.

¹⁶ Le choix de l'algorithme de chiffrement sera justifié dans la suite de ce chapitre (cf. 3.2.1)

IV.3.2 Scénarios des tests et interprétations

Le système IP DVB-RCS est une solution qui permet d'acheminer des flux IP par satellite en atténuant les mauvaises performances de TCP mais aussi en assurant la confidentialité et l'intégrité des données.

Le profil des clients visés, étant des institutions internationales, gouvernementales ou militaires, Il était crucial de tester la possibilité de chiffrer de la VoIP en ayant recours au protocole IPsec. Par conséquent, nous avons analysé le comportement de la VoIP chiffrée via IPsec transitant sur le lien satellite. L'attention est portée sur l'impact en temps induit par le processus de chiffrement sur le délai global. Nous avons notamment comparé le coût en bande passante en plus de la différence d'allocation entre des flux VoIP chiffrés et non chiffrés.

IV.3.2.1 Choix de configuration

Tels que décrit précédemment, le banc de test IP DVB-RCS est constitué de la Gateway incluant le NCC, le PABX IP, et le module d'accélération TCP et de chiffrement IPsec. Côté terminal, on trouve le terminal DVB-RCS, le module PEP pour le chiffrement IPsec et l'accélération TCP en plus du réseau LAN local composé de PCs, de téléphones et de Soft phones IP. Le lien satellite est simulé par un émulateur de canaux de propagation en bande L introduisant un délai fixe d'environ 125 ms dans chaque direction du trafic (Aller et Retour).

Afin de pouvoir évaluer simultanément la VoIP chiffrée et non chiffrée, les tunnels VPN ont été activés sur deux des 4 terminaux DVB-RCS. Les 2 autres ont été laissés tels quels avec l'accélération TCP active pour tous. Ci-dessous, on retrouve la configuration de la plateforme de tests.

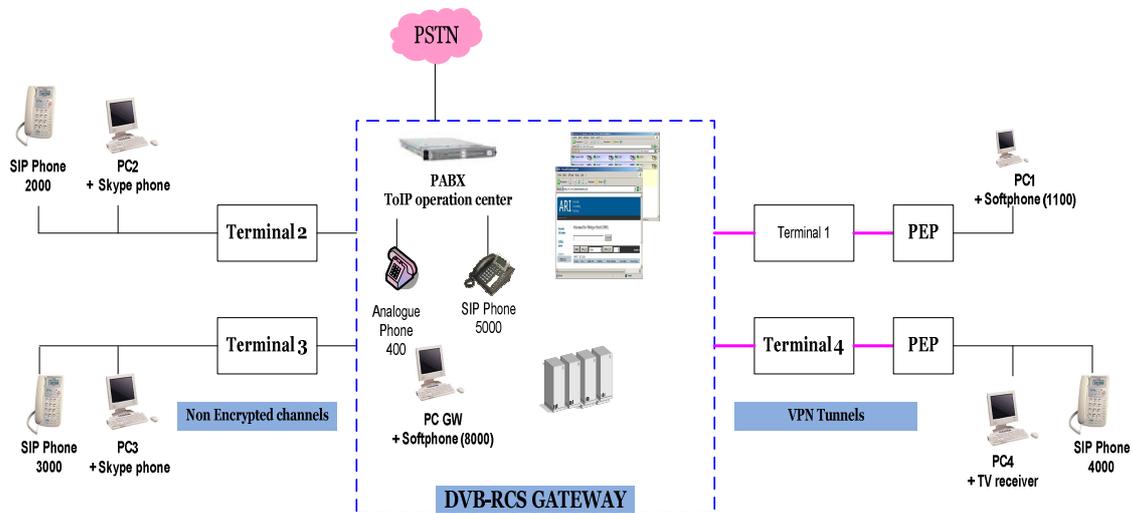


Figure IV.16 Architecture du réseau IP DVB-RCS après intégration des sous-systèmes

Le chiffrement IPsec est établi entre les PEP situés respectivement côté Gateway et côté terminal pour former ainsi un tunnel sécurisé par lequel transite l'ensemble des flux IP (données et voix) sur les deux liens satellite. Le processus de chiffrement repose sur ESP décrit précédemment garantissant, la confidentialité, l'intégrité et l'authenticité des données.

Ainsi, les PEP jouent un triple rôle. Ils adaptent les flux TCP au lien satellite quand cela est nécessaire. Ils encapsulent les paquets IP par IPsec. Ils ont enfin un rôle de routeur d'accès

qui attribue les niveaux de priorités aux différents flux IP avec le degré le plus élevé à la VoIP. Côté terminal, ce rôle de routeur d'accès revient normalement au terminal DVB-RCS. Il n'est, toutefois, plus possible de procéder ainsi puisqu'il reçoit des paquets IP ayant tous la même source et la même destination et contenant à leur tour les datagrammes IP chiffrés.

Remarque

Les terminaux des sessions VoIP sont distincts sur les deux extrémités du tunnel IPsec. Cela évite de configurer, individuellement, un grand nombre de téléphones IP et de soft phones IP.

Les algorithmes utilisés par IPsec pour chiffrer les flux doivent tenir compte du caractère temps réel de la VoIP. La solution PEP propose 3 algorithmes de chiffrement symétrique DES (*Data Encryption Standard*) [20], AES [21] (*Advanced Encryption Standard*) et 3DES [21]. Le premier utilise une clef de 56 bits dont la longueur ne permet pas d'assurer une sécurité suffisante. 3DES, avec une clef 192 bits, garantit le plus haut niveau de sécurité mais le temps de traitement est trop long pour des paquets VoIP à forte exigence en délai. Le compromis entre niveau de sécurité et temps de traitement est assuré par l'algorithme AES avec une clef de 128 bits et un temps de traitement 3 à 10 inférieur à 3DES.

Deux commentaires sont à formuler à propos de cette configuration. Le premier concerne les clefs de chiffrement et d'authentification qui sont configurés statiquement sur les PEPs de chaque côté du tunnel VPN et ce pour les raisons exposées précédemment. Le deuxième concerne la signalisation DVB-RCS qui transite « en clair » sur le lien satellite.

Le réseau IP DVB-RCS repose sur une porteuse DVB-S pouvant atteindre 4 Mbit/s et deux porteuses retour de l'ordre de 600 Kbit/s¹⁷.

La stratégie d'allocation de bande adoptée sur le lien retour est exclusivement dynamique. Une ressource non garantie VBDC attribuée en volume et un débit garanti et constant RBDC est alloué sur demande aux terminaux pour acheminer les paquets voix à hauteur de 512 kbit/s ce qui se rapproche de la taille d'une porteuse retour. On suppose ainsi que le système pourra prendre en charge un trafic formé uniquement de VoIP sur la voie retour et sera capable d'attribuer les ressources jusqu'à la limite de sa capacité.

IV.3.2.2 1^{er} scénario de test : allocation dynamique de bande passante

L'objectif du premier scénario est de tester l'impact de l'allocation dynamique sur la VoIP dans les deux cas : chiffré et clair. Dans les deux cas, nous initions une communication VoIP depuis un terminal et nous évaluons les métriques de la VoIP : pertes de paquets, délai et gigue. Nous portons notre attention davantage sur le lien retour.

Les pertes de paquets¹⁸ sont quasi nulles dans les deux sens Aller et Retour. Le délai Aller n'excède pas les 260 ms. Les observations les plus intéressantes portent sur la gigue. Avec une allocation dynamique, cette situation est le pire cas qui puisse survenir. En effet, au moment de l'arrivée des premiers paquets VoIP, aucun slot trafic n'est disponible. Ils doivent donc attendre que le cycle de demande-allocation ait lieu et ce durant un temps RTT avant que terminal ne dispose des premiers slots et ne commence à écouler le flux. Ceci se traduit par une gigue élevée au début de la communication avant que le processus de demande-allocation ne s'installe dans la durée et que la valeur se stabilise. Sur la figure 4.17 ce comportement est plus visible dans le cas d'une communication chiffrée.

¹⁷ Les valeurs indiquées concernent le débit MAC avant codage canal et modulation.

¹⁸ Dues essentiellement à des collisions au niveau des hubs connectant les équipements

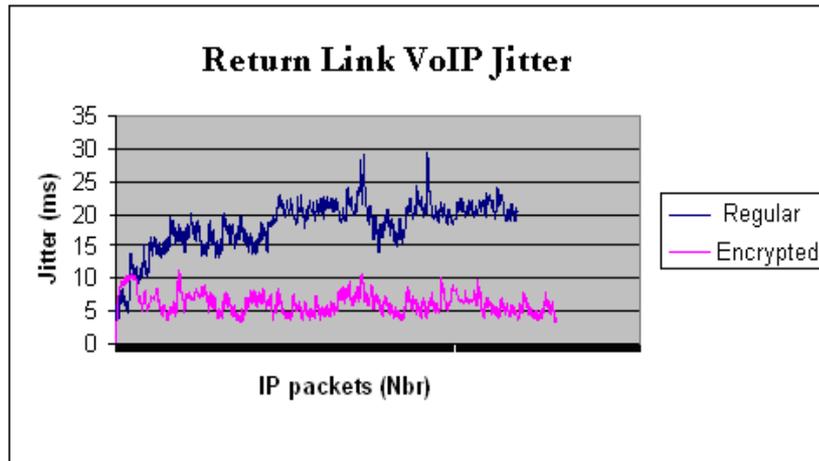


Figure IV.17 Gigue de la VoIP chiffrée et en "clair" sur la voie retour

Sur le lien Retour, les valeurs moyennes de la gigue permettent une qualité acceptable de la VoIP (figure 4.17). C'est aussi en raison de l'absence d'autres flux IP sur le réseau. Les comportements des courbes de giques dans le cas chiffré et clair, sont tout de même différents.

Dans le cas chiffré, la gigue se stabilise autour d'une valeur de 5 ms alors qu'elle continue de croître dans le cas clair jusqu'à se maintenir autour de 20 ms. Nous expliquons cette différence par le niveau protocolaire auquel le terminal évalue le volume de trafic à écouler avant d'émettre sa requête. En effet, nous constatons que cette évaluation a lieu au niveau MPE. Pour un même paquet VoIP –même codec et même nombre d'échantillons, ce qui est le cas ici- le débit MPE pour une communication chiffrée sera supérieur à celui qui passe en clair en raison des en-têtes supplémentaires ESP et IP qui s'ajoutent dans le cas IPsec. Ainsi, il peut y avoir des écarts importants entre les débits MPE dans les deux cas pouvant atteindre un rapport de 1,8.

C'est en partant d'une évaluation de débit que le terminal adresse sa requête. La Gateway, interprète la demande de ressources formulée en débit mais l'attribue sous forme de *bursts* trafic. Pourtant, dans les deux cas –chiffré et clair- et en comptant les en-têtes additionnels jusqu'au niveau MAC, un paquet VoIP ne requière pas plus d'un paquet MPEG-TS ce qui correspond à un seul *burst* de trafic. Ainsi, le terminal qui émet du trafic chiffré se voit allouer plus de *bursts* qu'il n'en a besoin. Cette « sur-disponibilité » des ressources contribue à « lisser » le trafic et à stabiliser la gigue en la maintenant à une valeur basse (cf. figure 4.18).

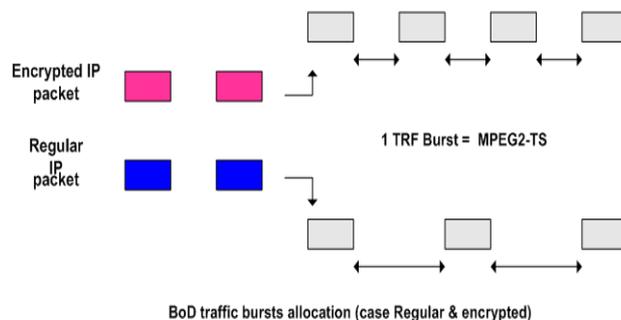


Figure IV.18 Rythme des allocations des bursts trafic dans les cas chiffré et clair

Dans le cas d'un trafic « clair », la Gateway attribue uniquement le nombre de *bursts* trafic nécessaires. De plus, le cycle demande-allocation requiert plus de temps avant d'atteindre un rythme plus régulier. La gigue met ainsi plus de temps à se stabiliser autour d'une valeur supérieure.

Ce raisonnement se trouve confirmé par l'observation des requêtes de capacité au niveau du terminal DVB-RCS. Il est visible (figure 4.19) que le volume des requêtes de capacités dans le cas chiffré est plus élevé à celui dans le cas clair. Par conséquent, la bande passante allouée est supérieure dans le premier cas.

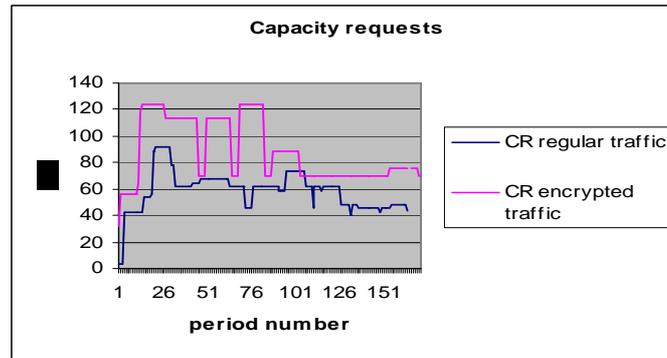


Figure IV.19 Niveau des requêtes de capacités adressées par le terminal

Nous concluons de ces observations et en raison de la manière avec laquelle le terminal DVB-RCS a évalué les ressources à demander, que le chiffrement IPsec de la VoIP est préjudiciable à une consommation optimisée des ressources. Cette constatation est vraie essentiellement pour des flux de type voix. L'effet serait beaucoup moins visible s'il s'agissait d'application de données (Web FTP..). En effet, dans ce cas, l'en-tête additionnel introduit par IPsec (~ 40 octets) est négligeable devant la taille totale des paquets (1500 octets). La variation de débit entre les cas chiffré et « clair » serait beaucoup moins notable et surtout moins préjudiciable à la consommation de bande.

Les conclusions de ce test nous renvoient, encore une fois, à un aspect sur lequel le standard DVB-RCS ne s'est pas clairement exprimé. On ne trouve pas dans la norme de mention à propos du niveau protocolaire (IP, MPE ou MPEG) auquel les ressources doivent être évaluées. Il n'est pas non plus spécifié la forme avec laquelle le terminal évalue la bande. Est-ce en débit ou en nombre de slots que la Gateway attribue par la suite en RBDC ou VBDC (débit ou volume) ? Là encore la norme laisse une liberté aux implantations.

IV.3.2.3 2^{ème} scénario de test : BoD et qualité de service

Outre l'allocation de bande passante, il est important d'observer le comportement de la VoIP chiffrée dans un contexte de réseau chargé avec des trafics de priorités différentes. Nous générons du trafic de fond de plus faible priorité que la VoIP sur les voies Aller et Retour. L'ensemble des flux transitent par le PEP pour être chiffrés avant transmission sur satellite. L'objectif est de charger les liens Aller et Retour à hauteur de leurs capacités maximales respectives. Ce sera le moyen de constater si les flux IP sont conformes aux priorités définies.

Sur le lien Retour (figure 4.20) et dans le cas où les flux sont chiffrés, on observe une croissance significative du délai qui atteint 600 ms. Le taux de pertes de paquets atteint les 30 %. Ceci dégrade sensiblement la qualité de la voix. Parallèlement, et dans le cas « clair », le délai garde des proportions acceptables de l'ordre de 260 ms et un taux de pertes de paquets inférieur à 1%.

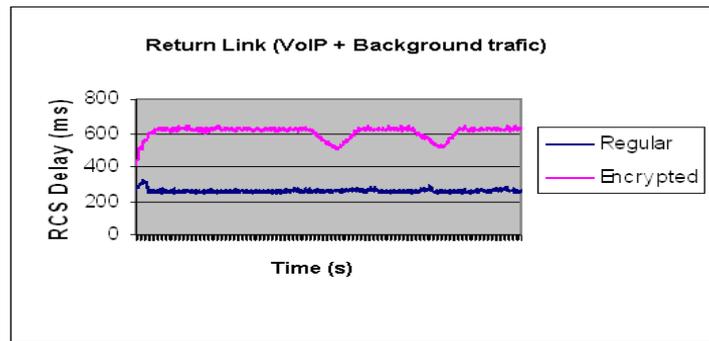


Figure IV.20 **Délais de la VoIP en chiffré et en “clair” avec du trafic de fond sur la voie Retour**

Sur le lien Aller DVB-S, le délai ne varie pas considérablement entre les cas chiffré et clair (figure 4.21). Toutefois, le taux de pertes de paquets atteint les 40% dans le premier cas rendant par là les communications VoIP inaudibles. En « clair », les communications VoIP se déroulent dans des conditions « normales ».

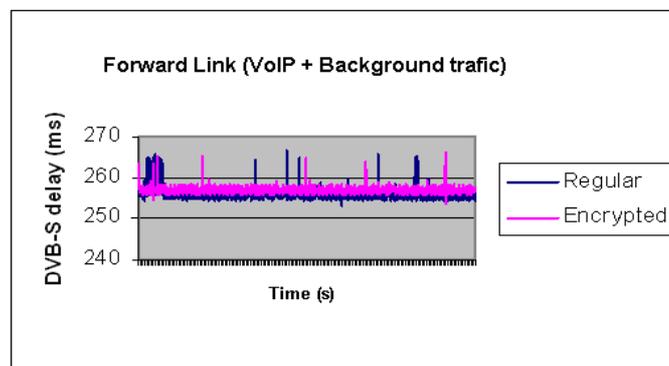


Figure IV.21 **Délais de la VoIP en chiffré et en “clair” avec trafic de fond sur la voie Aller**

A partir de ces observations on constate que cette dégradation de performance sur les deux liens n’est pas le résultat d’une mauvaise correspondance entre la qualité de service IP et l’allocation de bande passante radio. En effet, quand il n’y a pas de chiffrement les métriques de voix (délai, gigue et pertes de paquets) renvoient des valeurs correspondant à des communications de bonne qualité d’autant plus que la voix est audible. Les délais et la perte de paquets augmentent fortement pour un trafic de fond dont le débit ne dépasse pas la moitié de la capacité totale du lien (Aller ou Retour).

Les délais excessifs et la perte de paquets sont davantage dus au comportement du PEP. Dans le cas d’un trafic chiffré, le PEP un tunnel VPN par lequel transite la totalité du trafic, représente un goulet d’étranglement. Chaque paquet IP est encapsulé et les en-têtes ESP lui sont ajoutés. Cette opération très gourmande en CPU a une durée proportionnelle au nombre de paquets arrivant par seconde. A ce stade, les règles de qualité de service dont le rôle est de garantir les ressources mais surtout d’accélérer le routage des paquets à fortes contraintes temporelles, ne sont pas applicables. Même si ces règles sont définies pour chaque paquet IP, il n’est pas possible de contrôler l’accès des paquets au *Crypto-Engine* (Chiffreur IPsec). Les règles de QoS IP n’ont aucun impact sur l’ordonnancement des paquets quand ils accèdent au chiffreur IPsec. Si les paquets voix arrivent alors que la file d’attente contient des paquets de données, ce sont ces derniers qui seront traités en premier. Il n’y a pas de moyen à ce stade de distinguer les paquets IP temps réel de ceux ayant des priorités inférieures. Le chiffreur agit selon une disposition de service premier arrivé, premier servi. Par ailleurs, on constate que le délai de traitement des paquets IP par le chiffreur croît à mesure que leur taille décroît. Ainsi les paquets VoIP mettent plus de temps pour qu’IPsec soit appliqué (figure 4.22).

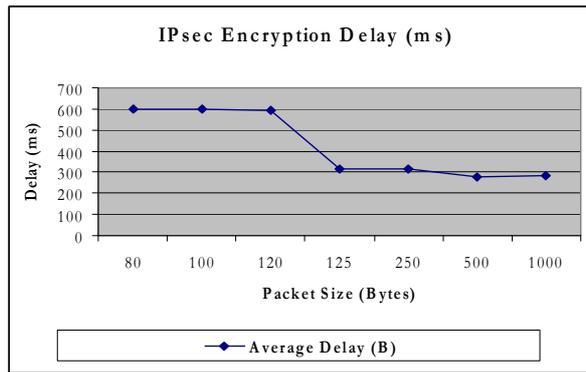


Figure IV.22 **Durée du chiffrement IPsec en fonction de la taille des paquets IP**

La taille des paquets arrivant au PEP combinée à un débit croissant du trafic de fond sollicitent la CPU du chiffreur qui, au-delà d'un certain seuil, commence à rejeter des paquets.

IV.3.2.4 Conclusion

Cette section a décrit les choix de configuration, l'évaluation théorique du coût d'encapsulation ainsi que les tests expérimentaux portant sur la VoIP chiffrée par IPsec sur un réseau DVB-RCS. On en conclut que les performances techniques ne confortent pas la volonté de transmettre de la VoIP chiffrée par IPsec sur la plateforme IP DVB-RCS. Tout d'abord, les ressources sont allouées inefficacement si les données sont chiffrées. Ensuite, le PEP en cryptant les flux IP, augmente considérablement le délai de transmission et le taux de perte de paquets.

IV.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit les différents sous-systèmes constituant le réseau IP DVB-RCS. Nous y avons évoqué, les choix technologiques, système et de configuration que nous avons été amenés à faire. Nous avons notamment étudié la faisabilité technique d'un service qui pouvait être proposé. Nous l'avons fait à travers des appréciations théoriques mais surtout des tests expérimentaux sur la plateforme IP DVB-RCS. C'était aussi une manière d'observer le comportement de l'ensemble de la chaîne et de l'analyser en vue de l'améliorer. Cela nous a aussi conduit à la conclusion que le DVB-RCS est une technologie suffisamment fiable bien qu'encore ouverte sur plus d'un aspect. C'est ce qui explique d'ailleurs son succès industriel. Néanmoins, elle n'est pas la seule sur le marché des réseaux IP par satellite. Des technologies conçues spécialement pour transmettre de l'IP par satellite ne manquent pas de succès à leur tour.

Ce sera précisément l'objet du chapitre suivant où nous établiront une comparaison entre deux systèmes industriels. Le premier IP DVB-RCS, le second implante iDirect une technologie propriétaire de plus en plus présente sur le marché.