

Communication Satellite

Eitan Altman

INRIA Sophia-Antipolis
2004 route des Lucioles, BP 93
06902 Sophia-Antipolis Cedex

URL:

<http://www-sop.inria.fr/mistral/personnel/Eitan.Altman/moi.html>

E-mail: `altman@sophia.inria.fr`

OUTLINE

- I. ATM sur satellites: Introduction
- II. La Normalisation
- III. Projets de R&D d'ATM sur satellites
- IV. L'architecture de l'ATM par satellite
- V. Méthodes de transport, couche physique

ATM sur satellites: Introduction

- L'ATM est conçu pour l'intégration de services
- Le déploiement de l'ATM sur terre ne peut pas se faire rapidement, car des réseaux offrant un seul service y existent déjà;

Ex: il n'est pas possible de faire un up-grade du réseau téléphonique existant pour supporter des applications à haut débit,

Il n'est pas rentable de redévelopper une nouvelle infrastructure pour la téléphonie.

- Les satellites n'ont pas ce problème, une grande partie des services terrestres à haut débit n'a pas encore d'équivalent dans les réseaux satellitaires.

Références

- *IEEE Communications Magazine* spécial issue on *Broadband via Satellite* Vol. 35 No. 7, July 1997.

En particulier:

AKYILDIZ I.F. and JEONG S.H. “Satellite ATM Networks: A Survey”. *IEEE Communications Magazine*, 35(7):30–43, July 1997.

- Excellent survey dans:
<http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/T.Ors/atmsat/index.html>
- S. Angelli and Paolo Mosca, “Transmission of framed ATM cell streams over satellite: a field experiment”, 1995.
- S. Chellingsworth, “VANTAGE – VSAT ATM networks trials for applications groups across Europe”, *IEE Colloquium on EU’s Initiatives in Satellite Communications*, May, London, 1997.

La Normalisation

- L'activité de standardisation est liée à la définition des performances souhaitées.
- Il faut prendre en compte
 - les grands délais (surtout GEO),
 - les variations de délais (constellations),
 - la qualité inférieure de la couche physique (par rapport à celle des fibres optiques).

Problèmes de la couche physique

- Il faut ajouter des mécanismes de détection et de correction d'erreurs.
- Contrairement aux erreurs sur des fibres optiques, les erreurs
 - ne sont pas indépendantes
 - ne sont pas réparties uniformément dans le temps
 - apparaissent typiquement en rafales.
- Cela rend la détection et les corrections d'erreurs encore plus difficiles [Ak97].
- Des codes correcteurs d'erreurs sont utilisés pour garantir
 - que la synchronisation soit maintenue, et que en plus,
 - l'information soit transmise avec un faible taux d'erreur.

- La destination peut reconnaître des cellules erronées tant qu'on ne perd pas la synchronisation.
- A cela s'ajoutent d'autres mécanismes de retransmission et de reséquencement de l'information transmise.
- Malgré les améliorations, les liens souffrent de problèmes de disponibilité.
- Les comités de standardisation prennent en compte les contraintes et définissent des objectifs de performances.

L'activité de standardisation de l'ATM:

- l'ATM-forum
- l'ITU (International Telecommunication Union).

Deux groupes dans l'ITU s'occupent de ATM sur satellites:

Le groupe **ITU-T**: défini pour la standardisation pour les équipements des terminaux et les protocoles pour les services télématiques.

Le groupe **ITU-R** défini pour la standardisation pour la transmission télégraphique.

Autre activité dans

- le TIA (Telecommunications Industries of America)

- l'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute* dont le URL est <http://www.etsi.fr/>).

Contributions importantes de l'ATM-forum:

- Work Items for Wireless ATM over GEO Satellite Links (contribution 96-1109)
- Satellite Access Service Description (contribution 96-1452)
- A Candidate Distributed MAC Protocol for WATM (contribution 96-1574)
- A Unified Framework of MAC Protocols for WATM (contribution 97-0318)
- Satellite ATM Utilisation (contribution 97-0358)
- MAC requirements for WATM (contribution 97-0565)
- A progress Report on the Standards Development for Satellite ATM Networks (contribution 98-0828)

Le groupe **ITU-R** est en train de travailler sur deux recommandations:

- ITU-R S.atm, "Performance for B-ISDN ATM via Satellite"
- ITU-R S.atm_av, "Availability objectives for a HRDP when used for the transmission of B-ISDN ATM in the FSS"

Suivent celles de **l'ITU-T**:

- I.356 (*B-ISDN ATM Layer Cell Transfer Performance*)
- I.357 (*B-ISDN Semi Permanent Connection Availablity*).

(revisées par l'ITU-T durant 1993-1996 et adoptées en Octobre 1996).

La recommandation I.356 de l'ITU-T

- Définition de mesures de performances bout-en-bout et des objectifs de performances pour des différents types de trafic.
- Définition de quatre types de trafics:
 - **Classe-1** trafics très sensibles aux délais.
Ex: services téléphoniques et vidéoconférences.
Cette classe est destinée pour le CBR et rt-VBR.
 - **Classe-2** trafics qui sont moins sensibles, tel que la vidéo et les données.
Destinée pour les trafics de type nrt-VBR et ABR.
 - **Classe-3** pour les trafics encore moins sensibles
Ex: la transmission de données à haut débit.
Pour les trafics de type nrt-VBR et ABR.
 - **Classe-4** est une classe sans contraintes.
Ex: le courrier électronique et le transfert de fichiers.
Destinée pour les trafic de type UBR.

Les mesures de performances:

- **CTD** (*Cell Transfer Delay*): Délai maximal de cellule ATM de bout-en-bout.
- **CDV** (*Cell Delivery Variation*): Variations maximales entre les délais de différentes cellules d'une connexion.
- **CLR₀₊₁** La fraction des cellules perdues.
- **CLR 0** (*Cell Loss Ratio 0*): La fraction des cellules perdues de la classe prioritaire ayant le CLP=0 (CLP est le *Cell Loss Priority*).
- **CER** (*Cell Error Ratio*): La fraction des cellules qui sont erronées.

- **CMR** (*Cell Misinsertion Rate* – taux de cellules mal insérées):
les cellules reçues mais pas transmises.

- **SECBR** (*Severely Errored Cell Block Ratio*):
Un bloc = une séquence de N cellules consécutives sur une connexion
Quand un bloc est reçu avec plus de M cellules erronées, perdues, ou mal insérées, ce bloc est considéré comme étant gravement endommagé.

Objectifs de Performances de I.356:

- Pour les classes 1,2,3 on a
 $CER=4 \times 10^{-4}$ err/s, $CMR=1$ par jour, $SECBR=10^{-4}$.
- Pour la classe 1:
 $CTD=400$ msec, $CDV=3$ msec, $CLR_{0+1}=3 \times 10^{-7}$.
- La classe 2: $CLR_{0+1}=10^{-5}$
- La classe 3: $CLR_0=10^{-5}$.

Les autres paramètres des classes 1,2,3 ne sont pas spécifiés, ainsi que les paramètres de la classe 4.

Objectifs pour le lien satellitaire:

Plus contraignant que les objectifs de bout-en-bout. Ex, Classe 1:

$$\text{CLR}=7.5 \times 10^{-8},$$

$$\text{CER}=1.4 \times 10^{-6},$$

$$\text{SECBR}=3.0 \times 10^{-5},$$

$$\text{CTD}=320\text{msec (max)},$$

CDV négligeable.

Le CMR est encore à l'étude.

La recommandation I.357 de l'ITU-T

Définition de mesures de disponibilité

- *AR (Availability Ratio)* – taux de disponibilité
- *MTBO (Mean Time Between Outages)* – temps moyen entre deux périodes de non-disponibilité.

Pour définir une période de non-disponibilité, on introduit

SES (Severly Errored Second):

période d'une seconde durant laquelle:

- (i) Soit des cellules d'information de la connexion arrivent mais
 - le CLR est supérieur à $1/1024$ (pour des services qui demandent des $CLR < 10^{-5}$), ou bien
 - le SECBR est supérieur à $1/32$.
- (ii) Soit des cellules d'information de la connexion n'arrivent pas car la connexion est dans un état qui ne peut pas fournir des performances acceptables.

Le fait que les cellules d'information n'arrivent pas peut bien être le résultat de cet état.

- L'état non-disponible est défini comme une période de dix SES consécutives.
- L'état de non-disponibilité est terminé quand il y a dix secondes consécutives dont aucune n'est SES.

Pour obtenir le AR du lien satellite, la recommandation I.357 propose d'utiliser le calcul

$$A_{\text{Satellite Link}} = A_{\text{Propagation}} \times A_{\text{Earth Station}} \times A_{\text{Spacecraft}}$$

où

- $A_{\text{Satellite Link}}$ représente la disponibilité sur le lien satellite,
- $A_{\text{Propagation}}$ représente la disponibilité due à l'atténuation par la pluie et autres effets d'interférences,
- $A_{\text{Earth Station}}$ représente la disponibilité due aux équipements terrestres du terminal du récepteur et du transmetteur,
- $A_{\text{Spacecraft}}$ représente la disponibilité due aux équipements sur le satellite.

Recommandation S.1062-1 de l'ITU-R

- Dénommée *Allowable Error Performance for a Hypothetical Reference Digital Path Operating at or above the Prime Rate*.
- Concerne les performances de la couche physique et l'information erronée pour des débits $> 1,5\text{Mb/sec}$.
- Cette recommandation définit les erreurs d'information pour **trois échelles de temps** qui représentent des *scénarios extrêmes*.
- Il s'agit des taux d'erreurs pour les pires des périodes qui durent 0,2%, 2,0% et 10% d'un mois.
- La recommandation présente les objectifs de taux d'erreurs en fonction du débit.

- Les débits considérés sont 1,5 Mbit/s, 2,0 Mbit/s, 6,0 Mbit/s, 51 Mbit/s et 155 Mbit/s.
- Cette recommandation est basée sur des définitions et recommandations de G.826 de l'ITU-T (révisée par l'ITU-T durant 1993-1996 et adoptée en Août 1996).

Définition de taux d'erreurs

- Les erreurs de bits apparaissent en rafales.

C'est dû aux propriétés de propagation, mais aussi aux codes correcteurs d'erreurs.

- α := le nombre moyen d'erreurs par rafale.
- La recommandation présente des mesures de α pour plusieurs débits et plusieurs types de FEC. α typique est 10.
- Le taux d'erreurs est mesuré en BEP (*bit-error probability*) divisé par α
- Ce taux d'erreurs est appelé *Error Event Ratio*.

Recommandation G.821 de l'ITU-T

- Dénommé *Error performance of an international digital connection operating at a bit rate below the primary rate and forming part of an integrated services digital network*
- Revisée par l'ITU-T durant 1993-1996 et adoptée en Août 1996.
- Concerne les débits $< 1.5\text{Mb/sec}$ correspondant aux bandes étroites
- Le standard s'intéresse aux multiples de N fois 64Kb/sec , où N est un entier.

Définitions:

- **ES:** (seconde erronée) c'est une seconde durant laquelle il y a au moins une perte;
- **ESR:** (taux de sconds erronées) c'est la fraction des secondes erronées parmi les secondes durant lesquelles la connexion est disponible.
- **SES:** (seconde gravement erronée), c'est une seconde durant laquelle il y a un taux de perte de plus de 10^{-3} .
- **SESR:** (taux de secondes gravement erronées) c'est la fraction de SES parmi toutes les secondes durant lesquelles la connexion est disponible.

Définitions différentes de celles pour le haut débit:

La recommandation S.1062-1 de l'ITU-R, et aussi ITU-T G.826.

Dans ITU-T G.821 les objectifs sont:

$SESR < 0.002,$

$ESR < 0.08.$

La durée proposée pour les mesures est de l'ordre d'un mois.

A partir de la définition de SES, le standard définit la **période de disponibilité** et de **non-disponibilité** de la même manière que nous avons vu dans le haut débit.

Projets de R&D d'ATM sur satellites

Il y a à ce jour un grand nombre de projets, qui couvrent la partie réseau, équipement, opération, expérimentation.

Certains projets sont dans des phases de recherche et développement, mais une partie est déjà en phase de commercialisation.

Ref:

Une liste partielle de projets se trouve dans

AKYILDIZ I.F. and JEONG S.H. “Satellite ATM Networks: A Survey”. IEEE Communications Magazine, 35(7):30–43, July 1997.

Un grand nombre de projets sont décrits dans

<http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/T.Ors/atmsat/index.html>

■ COMSAT

Parmi les plus importants des acteurs industriels dans l'ATM sur satellite.

Le produit ALE (ATM Link Enhancer) leur a donné une longueur d'avance sur leurs concurrents.

En 1997, Comsat a annoncé une innovation technologique avec son nouveau lien satellitaire dénommé OneSM.

Ce lien intègre quatre méthodes de transfert de l'ATM, le Frame Relay, le SS7 et le ISDN.

La commercialisation de ce lien a commencé en 1998.

Le lien permettra l'utilisation d'un débit de

- 2 Mb/s pour une petite antenne de l'utilisateur de 2.5 m de diamètre, et
- un débit de 32 Mb/s pour les grandes antennes (11 m).

ATM sur satellite pour la téléphonie

Mars 1998, contrat de services ATM sur satellite pour le transfert d'Internet pour la compagnie de *Puerto Rico's Telefonica Larga Distancia (TLD)*, en provenance ou à destination de plusieurs pays d'Amérique du Sud.

Le lien satellitaire ATM a un débit de 34 MB/s sortant de Puerto Rico, et 8Mb/s de débit pour les trafics entrants.

Comsat présente ce contrat comme étant le premier contrat commercial de lien ATM par satellite.

Stations GEO

Juillet 1998: contrat de US\$ 3.5 million pour des services ATM par une cinquantaine de stations géostationnaires de SkyStation International.

Il ne s'agit pas de satellites, mais de **plateformes remplies de helium qui seront dans la stratosphère**, à 21 km d'altitude, survolant des régions métropolitaines importantes.

Le lien ascendant est de 2.048 Mb/s, et le lien descendant est de 10.24 Mb/s. Le diamètre de couverture serait 1000 km. Les fréquences utilisées seront 600 MHz.

Un autre acteur important qui travaille sur l'ATM est **Telesat** (Canada).

Travaille sur des réseaux intégrant satellite et réseau terrestre (SATIN - *Satellite - Terrestrial Integrated Network*).

La NASA

Recherche, développement et expérimentation sur l'ATM sur satellite.

Se font dans ACTS – *Advanced Communications Technology Satellite*, qui est un projet de la *NASA Lewis Research Center Satellite Communications Network Technology*,

Lancé en 1993 et reconduit jusqu'en Septembre 2000.

Développement du réseau **ACTS Gigabit Sattelite Network**.

ACTS Gigabit Sattelite Network

Contient des stations terrestres qui communiquent par satellite (GEO) ayant des capacités de commutation à bord.

L'accès se fait par une approche AMRT sur des liens dans les bandes K et Ka.

Les débits offerts sont de 155 Mb/s et de 622 Mb/s de liens point-à-point et point-à-multipoint de type SONET par satellites.

Jusqu'à trois liens montants et deux liens descendants peuvent être actifs simultanément.

Le débit de tout le système est de 2 Gb/s dont 10% est pour le FEC et des overheads.

Une description du réseau est accessible par l'Internet au <http://mrpink.lerc.nasa.gov/syschar.html>.

La NASA a aussi une activité de recherche et développement de ATM sur satellites dans le cadre de sa branche *Satellite Networks & Architectures*, accessible par <http://ctd.lerc.nasa.gov/5610/atm.html> sur l'Internet.

Projets de la Communauté Européene

Projets de d'expérimentation et de R&D le cadre des programmes

- **RACE** Catalyst, UNOM
- **ACTS** Vantage, Nice, Theseus, Abate-Secoms, Thomas, Sinus, Cobuco.
- **COST** (*European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research*): Actions 226 et la 253.

Projets RACE

Catalyst (Race II)

- Ref: Z. Sun, F. P. Coakley and B. G. Evans, Satellite ATM for broadband ISDN, Telecommunication Systems, 4, 119-131, 1995
- Le premier lien Européen par satellite, dont la première démonstration a eu lieu en Dec. 1992.
- Des expérimentations de la couche physique du lien satellite, surtout des performances des erreurs et des pertes ont été obtenues.
- Les participants sont
 - Alcatel Espace,
 - Alcatel Bell,
 - Alcatel Telspace,
 - Centre of Planning & Economic Research,
 - Centro de Estudos de Telecomunicações,
 - Companhia Portuguesa Radio Marconi,
 - EUTELSAT, Space Engineering, Telecom Paris / Arecom,
 - University of Salford, University of Surrey.

UNOM (Race II)

UNOM (*Users Network Operators & Manufacturers*) 1992-1995.

- Parmi les participants sont MET Commutation, EUTELSAT, Matra Communication, Matra Marconi Space, SGS-Thomson Microelectroni.
- Objectifs:
 - expérimenter des équipements ATM,
 - valider des spécifications et des standards pour les communi-
cations larges-bandes intégrées (IBC - *Integrated Broadband
Communication*)
étudier la compatibilité de technologies ATM, y compris le trans-
port par satellite.
- Pour leurs expérimentations, ils ont utilisé un lien satellitaire entre Crolles en France et Agrate en Italie

- Antenne de 2.4m de diamètre,
puissance transmise de 40W,
PIRE de 64 dBW
G/T de 24 dB/K.

- Satellite: EUTELSAT II-F3 (à 16° E),
la bande K_u ;
le PIRE sur le satellite: 44 dBW (minimum)
le G/T de 2 dB/K (minimum).

- Des modems de 8Mbit/s avec code de Reed Salomon.
Le système a été conçu pour un taux de pertes inférieur à 10^{-8}
durant 99% du temps.

Projets A.C.T.S.

Vantage – *SAT ATM Network Trials for Application Groups Across Europe*

Ref: S. Chellingsworth, “VANTAGE – VSAT ATM networks trials for applications groups across Europe”, *IEE Colloquium on EU's Initiatives in Sattelite Communications*, Londres, Mai, 1997.

- Interconnexion par satellite de toute l'Europe.
- Commutateur ATM à bord d'un satellite GEO.
- Consortium dans lequel participent les industriels Alcatel Bell et Alcatel Telspace, les opérateurs British Telecom, Belgacom et CPRM (du Portugal), les universités Salford et Bradford de Grande Bertagne, et la P.M.E. Space Engineering d'Italie.

■ Autres projets de ACTS sont

- **Nice** (pour les liens terrestres et satellitaires),
- **Theseus** (pour les satellites fixes et la communication en broadcast) dont le but est de développer un terminal qui serait utilisé par les bourses européennes pour échanger des données par des liens terrestres et satellitaires.

■ Plusieurs projets ACTS sont consacrés aux communications mobiles par satellites:

- **Abate-Secoms** (<http://manuel.brad.ac.uk/Research/ABATE/>),
- **Thomas** (voir <http://alf.zfn.uni-bremen.de/atimm/tomas.html>),
- **Sinus** (voir <http://www.eeng.brad.ac.uk/Research/SINUS/>) et
- **Cobuco** (<http://www.dlr.de/NT/NT-DN/cobuco.htm>).

Abate-Secoms (*ACTS Broadband Aeronautical Terminal and Experiment, Satellite EHG Communications for Mobile Multimedia Service* 1996-1998)

- Développe la technologie liée aux services mobiles larges-bandes, utilisant les bandes de fréquences Ka (20/30 GHz) et EHF (40-50 GHz), et les terminaux terrestres USAT.
- Les partenaires sont PL (Jet Propulsion Lab's / NASA, Pasadena), INMARSAT (Londre), EAC (European Aerospace Consultants, Paris), et ESA (European Space Agency) comme partenaire sponsor.

Autre participants: Alenia Aerospazio (Italsat satellite), Dassault Electronique, DLR, INMARSAT.

Tomas (*Trial Testbed of Mobile Applications for Satellite Communications*, 1996-1999)

- Objectif: faire des expérimentations et de les évaluer concernant le développement et l'application du concept de Systèmes de Télécommunications de Mobilité Universelles par Satellite (*S-UMTS Satellite Universal Mobile Telecommunication Systems*).
- Il s'agit principalement de communication par des satellites GEO.
- Des expérimentations de transmissions multimédia par MPEG-4 et H.324 ont été effectuées.

Sinus (*Satellite Integration into Networks for UMTS Services*)

- Objectif: définir et d'expérimenter des techniques pour l'interface physique aérienne (propagation, méthodes d'accès, transferts inter-satellites).
- Les Participants sont Alcatel Espace, Matra Marconi Space, France Telecom, Fundacion Airtel Movil (Espagne), Telenor, CSELT (Italie) VTT Electronics, SINTEF T & I, Universités de Surrey et de Bradford (UK).

Projets COST

Actions 226 et la 253.

L'action 226 [E95]

- Objectifs:
 - intégrer des réseaux locaux par satellites,
 - expérimenter TCP/IP y compris sur des réseaux VSAT, et étudier la compatibilité de l'ATM par satellite.

- Cette action utilise un système GEO.

L'action COST 253 (<http://manuel.brad.ac.uk/Research/cost253/>)

- S'occupe toujours d'interconnexions de réseaux locaux, mais cette fois avec des satellites non-GEOs.
- Elle durera quatre ans: 1996-2000.
- L'action étudiera des questions de qualité de service, administration de ressources et contrôle de trafic.

Autres projets de ATM sur satellites

ICAROS

Ref: L. Mola, P. J. Lizcano, P. Meuret, H Wännman, S. Agnelli, “An initiative for conformance ATM-networks relying on satellite-links”, COST 226 final symposium, Budapest, Hongrie, Vol 1, pp. 518-523, 1995.

- Satellite GEO
- Les compagnies qui y participent sont Telefonica, Swiss PTT, Telia Research AB, Eutelsat.
- L'interface terrestre est ATM et l'émulation de LAN.
- Le débit est de 34 Mbit/s sur des transpondeurs de Eutelsat, ou de 2 Mbit/s avec un transpondeur HISPASAT.
- L'accès est en ARMT ou Aloha.

AKT ATM (satellite GEO et orbite inclinée)

- Ref: E. G. Cuevas,
“AKT ATM technical trial: physical and ATM layer performance test results”, *Proc ATM Workshop, EUTELSAT*, Juillet, 1996.

Les compagnies impliquées sont AT&T, KDD, Telstra, utilisant des équipements de COMSAT et Intelsat.

- Le transpondeur utilisé est INTELSAT V.
- Il s'agit de connexion de trois sites par satellite.
- Une variante de AMRF est utilisée pour l'accès.
- Le débit est de 45 Mbit/s avec de codage optionel de Reed Salomon et le ATM Star Link Enhancer ou le ALE de COMSAT.

L'architecture de l'ATM par satellite

■ Ref:

[TL97] C. K. Toh and V. O. K. Li,
Satellite ATM network architectures: an overview,
IEEE Network Magazine, 12 No. 5, pp 61-71, 1998.

[LNCN95] J. Lunsford, S Narayanaswany, D. Chitre and M. Neibert,
“Link enhancement for ATM overs satellite links”, ICDSC-10,
Vol 1, pp. 129-136, 1995.

[Ak97] I.F. Akyildiz and S. H. Jeong,
“Satellite ATM networks: A survey”, *IEEE Communications Magazine*,
Vol 35, No 7, Juillet, pp 30-43, 1997.

[E95] M. Erculisse et al., “An ATM-based switched VSAT communication system for LAN and Isochronous services interconnections”, COST 226 Integrated Space/Terrestrial Networks Final Symp., Mai, 1995.

- Plusieurs architectures possibles pour les réseaux qui contiennent des liens satellitaires
- des segments terrestres, segments usagers et segments satellitaires.
- La partie satellitaire peut être l'essentiel du réseau à haut débit; ou bien:
architectures de réseaux hybrides terrestres-satellitaires

Le segment terrestre:

Contient typiquement:

- des stations-passerelles terrestres,
 - une station de gestion du réseau (SGR)
 - des centres de contrôle satellitaire (CCS).
-
- les stations-passerelles lient le segment satellitaire aux autres centres de commutation terrestre, ce qui permet, en particulier, la connexion avec le réseau public.

 - Dans le cas de communication ATM mobile, les stations-passerelles maintiennent l'information sur la position des terminaux mobiles.

 - Le **SGR** contient l'information pour
 - l'allocation des ressources et l'administration du réseau,
 - la tarification,
 - l'authentification des usagers et
 - les bases de données du réseau (plus économique et avantageux d'avoir ces fonctions sur terre que dans les satellites).

- **Le CCS:** responsable
 - des aspects de contrôle mécanique des satellites,
 - le contrôle de position (la mise et le maintient en orbite)
 - le contrôle de puissance.

Des informations provenant des CCS sont transmises aux stations-passerelles terrestres pour permettre des fonctions de localisation et de transfert (handover).

le **ALA** (*ATM Link Accelerator*) [TL98]:

A l'entrée du lien satellite il y a typiquement une unité qui est responsable des **fonctions d'adaptation au lien satellitaire**:

- l'ajout des codes correcteurs,
- l'entrelacement etc.

Exemple le **ALE** (*ATM Link Enhancer*) de COMSAT (Ref: [LNCN95])

Se charge d'extraire les cellules ATM des trames et peut se charger de les classer en priorités dans des tampons (buffers) selon des classes de trafic avant de les transmettre. [Ak97].

Dans certains cas (selon l'architecture) elle peut avoir des fonctions supplémentaires comme

- l'administration du réseau,
- le contrôle des ressources du réseau,
- l'allocation de bande passante en temps réel,
- la synchronisation et de la temporisation,
- le contrôle d'accès au réseau,
- le contrôle d'erreurs et le contrôle de trafic.

Dans [Ak97], une telle unité s'appelle ASIU (*ATM Satellite Interworking Unit*).

Types d'architectures

Lien fixe entre deux usagers ATM

- Le satellite sert de “tuyau” pour acheminer du trafic entre deux usagers [TL98].
- Satellite de type *bent-pipe*;
- N'a pas de fonctions de commutation de cellules entre des chemins virtuels (VPs) ou des canaux virtuels (VCs).
- Pas besoin d'offrir des possibilités d'allocation de bande passante ou d'accès multiple.
- Le terminal de l'utilisateur est connecté au satellite via
 - un commutateur ATM (l'accès au commutateur peut se faire par un réseau local ou un routeur),
 - une unité de type ALA,
 - le modem et l'antenne.
- Cette architecture ne demande pas de signalisation entre l'utilisateur et le satellite.

Lien entre des usagers fixes et un réseau ATM

- Connexion entre
 - des usagers et
 - un (ou plusieurs) réseaux ATM terrestres (et en particulier, à un usager accessible en passant par ce réseau).
- L'interface entre l'utilisateur et l'accès au lien satellitaire est par le UNI – *User Network Interface* public ou privé, selon le type du réseau auquel l'utilisateur souhaite se connecter à l'autre bout du lien.
- Du côté du réseau ATM, l'accès au lien satellite se fait par une station-passerelle terrestre qui a le rôle de multiplexage, et qui est connecté au réseau ATM par un NNI – *Network-Network Interface*

Deux types possibles de NNI - si le réseau est privé, on utilise le NNI privé dénommé PNNI – *Private Network-Network Interface* s'il est public on utilise un UNI public.

- Cette architecture se caractérise par un grand nombre de petits terminaux d'utilisateurs pas chers et un petit nombre de stations-passerelles terrestres.

- Chez l'utilisateur, l'information à transmettre est d'abord segmentée en passant par la couche AAL à des cellules ATM.
- Dans l'interface UNI avant le lien satellite, une unité de signalisation est requise pour établir la connexion ATM, qui doit être compatible au réseau à l'autre bout.
- Ni le terminal de l'utilisateur ni la station-passerelle à l'autre bout ne participent à cette signalisation.
- Une entité d'administration de réseau est nécessaire au terminal de l'utilisateur pour négocier avec le SGR des ressources du réseau.
- Elle est présente aussi à la station-passerelle terrestre pour des fonctions similaires.
- Etant donné que l'accès de plusieurs usagers au satellite se fait par le même lien physique satellitaire, l'interface entre l'utilisateur et le satellite doit contenir des mécanismes de **contrôle d'accès** (ex: AMRT ou AMRF ou DAMA).

Liens entre des usagers fixes et mobiles et un réseau ATM

- Cette architecture ressemble à la précédente mais elle doit permettre en plus l'accès au réseau ATM à des usagers mobiles.
- Doit contenir des fonctions d'administration de mobilité, qui contiennent
 - l'authentification,
 - la localisation,
 - le routage,
 - transferts entre points d'accès etc.
- Ces fonctions sont prises en charge par le UNI (appelé M+UNI: *Mobility-Enhanced UNI*) qui lie un terminal ATM mobile au lien satellite.
- Du côté du réseau ATM à l'autre bout, ces fonctions sont accomplies par un commutateur qui a des fonctions de mobilité et qui est connecté à la station-passerelle terrestre.
- Détails supplémentaires: [TL98].

Interconnexion satellitaire fixe entre réseaux ATM [E95, TL98]

- Surtout l'interconnexion entre des réseaux ATM fixes, aussi d'interconnexion avec des réseaux ATM mobiles (un commutateur ATM peut être embarqué dans un véhicule ou un avion et offrir une connexion ATM à plusieurs usagers).
- Les protocoles utilisés n'ont pas besoin de supporter la mobilité [TL98] car le satellite ne sert que de tuyaux pour interconnecter des réseaux.
- Les commutateurs ATM des deux bouts du lien satellitaire implémentent des fonctions ATM de la couche physique et de la couche ATM, mais n'ont pas besoin d'implémenter des fonctions de la couche AAL, car les commutateurs ne sont que des nœuds intermédiaires.
- Les stations-passerelles terrestres sur ce lien interagissent avec le SGR pour négocier des ressources du réseau.
- La connexion entre le point d'accès au lien satellitaire et le réseau ATM se fait maintenant par une signalisation de type NNI.

Interconnexion satellitaire mobile entre réseaux ATMs [TL98]

Deux scénarios possibles:

- ou bien un des réseaux est mobile et le lien satellitaire (GEO ou non GEO) n'est pas spécifié, ou bien
- les réseaux sont fixes mais le satellite est mobile.
- Des fonctions de mobilité doivent être fournies dans cette architecture car il y a des transferts dûs à la mobilité (soit du réseau soit des satellites par rapport au réseaux et aux stations-passerelles terrestres).
- Le lien entre un réseau ATM et le lien satellite se fait
 - en passant d'abord par un commutateur ayant des fonctionnalités de mobilité,
 - puis une station-passerelle terrestre ayant elle aussi de telles fonctions;

- Les fonctions de transfert se font dans le commutateur tandis que les fonctions de localisation (authentification, routage, registration etc) se font dans la station-passerelle terrestre.
- Les stations-passerelles terrestres sont connectés aux SGR pour négocier des ressources du réseau; ce sont les derniers qui se chargent des fonctions d'admission d'appels (CAC – *Call Admission Control*) et l'administration des ressources.
- La connexion entre le point d'accès au lien satellitaire et le réseau ATM se fait par un NNI.

Commutateurs à bord: OBP

Ref: [GC97] J. Gilderson and J. Cherkaoui, “Onboard switching for ATM via satellite”, *IEEE Communication Magazine*, Vol 35, No 7, Juillet, 1997.

Des architectures plus complexes sont obtenues quand les satellites sont équipés de commutateurs (ou autres processus) embarqués (OBP – *On Board Processing*).

Exemples:

- Astrolink, (voir <http://www.astrolink.com>)
- Skyway, et
- Teledesic.

Nous spécifions trois types d'architectures contenant des OBPs.

OBP: accès par satellite à un réseaux ATM [E95, TL98]

La présence de l'OBP permet d'ajouter dans le satellite des fonctions de

- multiplexage,
 - de priorités entre différentes classes de trafic
 - allocation dynamique de ressources.
- Le lien doit contenir des protocoles d'accès au support (MAC – *Medium Access Control*) car le lien satellitaire est commun.
 - Des connexions (VCs) point-à-point et point-à-multipoint sont possibles sur le lien ascendant et descendant.
 - En comparant à l'architecture sans OBP, ici
 - les fonctions d'administration de réseau peuvent être implémentées aussi dans le satellite,
 - Elles réagissent aux signalisations UNI qui arrivent de l'utilisateur terrestre pour l'allocation et le contrôle des ressources.

OBP: interconnexion satellitaire entre réseaux ATM [TL98]

- Etant donné que le satellite est un nœud ATM et non plus seulement un tuyau, l'interface entre les point d'accès au lien satellitaire et le satellite est du type NNI ou M+NNI (NNI avec des fonctions de mobilité).
- Si un des réseaux connectés est un réseau mobile alors des fonctions de mobilité doivent être implementées non seulement aux stations-passerelles terrestres et aux commutateurs qui les suivent mais aussi dans le OBP au satellite.
- Une signalisation est nécessaire entre le OBP et le SGR terrestre car
 - le OBP à un impact sur les qualités de services de bout en bout, et
 - il participe aux reservations des ressources dans la phase de l'établissement de la connexion.
- Les fonctions de transfert peuvent être accomplies par le OBP ou par les commutateurs terrestres connectés aux stations-passerelles terrestres.

OBP: Architecture ATM maillée dans l'espace [TL98]

- Il s'agit des architectures correspondant aux satellites avec des OBPs et avec des liens inter-satellites.
- Des exemples sont Astrolink et Teledesic.
- Le réseau ATM dans l'espace a des fonctions de commutation, routage, contrôle de flux et de congestion, établissement et terminaison de connexions.
- Ces satellites utilisent la signalisation NNI ou M+NNI entr'eux;
- la forme exacte de la signalisation NNI entre satellites n'a pas encore été normalisée.
- La signalisation UNI ou M+UNI est utilisée pour les connexions entre les satellites et les stations-passerelles terrestres.
- Quand il s'agit de constellation non GEO, les OBPs doivent contenir des fonctions de mobilité, et en particulier, se charger des transferts dûs à la mobilité des satellites.
- En plus, des fonctions de mobilité sont nécessaires quand les satellites sont accessibles par des usagers ou même des réseaux mobiles.

La méthode de transport

PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

a été développé pour transférer de la voix dans des grandes zones urbaines.

C'est une méthode de multiplexage de plusieurs flux qui peuvent avoir des horloges différents.

PDH a les problèmes suivants:

- Innéficacité quand on extrait un flux parmi plusieurs multiplexés, ou quand on ajoute un à plusieurs déjà multiplexés.
- Problèmes de reroutage de signaux quand il y a des pannes, et d'administration à distance d'éléments de réseaux.

Des mesures effectuées avec le PDH montrent qu'il est complètement adapté:

S. Angelli and Paolo Mosca, "Transmission of framed ATM cell streams over satellite: a field experiment", 1995.

Dans les mesures, on varie le rapport signal/bruit et on s'intéresse à:

- BER: Bit Error Rate,
- BER_{BIP8} taux d'erreur dévouvertes par le PDH,
- DCR: ATM Discarded Cell Ratio,
- CCR: Corrected Cell Ratio,
- EPR: Errored Payload Ratio.

Mesures à Bâle:

antenne de 9m diam,
puissance 600W,
EIRP 74.5 dBW,
G/T 34 dB/K,
Satellite: EUTELSAT II-F3

Lien ATM de 34 Mbit/s

Sur-dimensionnement, avec $E_b/N_0 > 20dB$ et BER inférieur à 10^{-13} .

Mesures à Nanterre:

antenne de 3.7m diam,

puissance 85W,

EIRP 69.5 dBW,

G/T 28.4 dB/K,

Satellite: EUTELSAT I-F5

Lien ATM de 34 Mbit/s

$E_b/N_0 = 10dB$ et $BER = 10^{-11}$.

Pas d'erreurs de bits ou dans les cellules.

En ajoutant de bruit (exprès) (jusqu'à 6.4dB):
pas de problèmes de synchronisation de bits ou de cellules.

Les DCR et presque proportionnel au BER, et il est de quelques ordres de grandeurs supérieur à ce qu'on aurait obtenu pour des pertes indépendentes aléatoires.

Ref: *IEEE Communications Magazine* special issue on *Broadband via Satellite* Vol. 35 No. 7, July 1997.

On préfère dans les satellites ATM le

SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

- Demande une synchronisation;
- Des débits plus élevés sont définis;
- Le multiplexage et démultiplexage sont possible directement par un système de pointeurs.
- Une erreur de réception dans un pointeur peut causer beaucoup d'erreurs.
- Par conséquence, quand le SDH est utilisé, il faut des méthodes qui arrivent à étaler des rafales d'erreurs.

Le PLCP (Physical Layer Convergence Protocol)

- Une méthode de transfert définie dans IEEE 802.6 (réseau d'accès métropolitain nommé DQDB – Distribute Queue Dual Buss) et par le ATM forum.
- Contient des trames de durée de $125\mu\text{sec}$ qui contient 12 cellules ATM.
- N'est pas adapté aux satellites à cause de sensibilité à des erreurs en rafales.

Méthodes d'accès:

- Probablement la plus utilisée sera MF-TDMA:
Plusieurs tranches de fréquences, de TDMA sur chaque.
- Ex. de DAMA: Des réservations, où chaque source indique combien de cellules elle voudrait envoyer.

Détection et Correction d'erreurs

La cellule ATM

- La structure des cellules ATM est définie avec des codes qui protègent l'entête.
- L'entête (5 bytes d'informations) contient un code permettant la détection de plusieurs erreurs mais la correction d'une seule erreur.
- Cela est typiquement insuffisant en présence d'erreurs en rafale sur les liens satellitaires.

Couche transport

- La fiabilisation de la communications entre la source et la destination:
- surtout dans une couche d'adaptation: le AAL (ATM Adaptation Layer).
- Les cellules elles-mêmes sont groupées dans des trames.
- Même si une cellule est bien transmise, elle risque d'être perdue si la trame qui la contient est erronée, ou si d'autres cellules de cette trame sont perdues.

- Plusieurs protocoles et donc plusieurs structures possibles standardisées pour les trames.
- La structure choisie dépend du type de service désiré (temps réel ou donnés, etc).
- Les trames contiennent des codes cycliques (CRC - Cyclic Redundancy Check) de N bits (N dépend de la structure choisie) qui permettent de corriger plusieurs erreurs, tant que le nombre d'erreurs dans la trame est inférieur à N .
- Quatre types de protocoles AAL ont été normalisés par l'UIT-T: Les AAL 1, AAL 2, AAL 3 et AAL 4.
- Depuis, les AAL 3 et la AAL 4 ont été fusionés dans le AAL 3/4 et un nouveau protocole, AAL 5 a été standardisé.

Les protocoles AAL 1 - AAL 4 ont été conçus pour les services A,B,C,D, respectivement, définis comme suit:

- **Service A:** pour des flux en mode connecté (une connexion de bout en bout est définie et tous les paquets de cette connexion suivent le même chemin) qui nécessitent une bande passante constante (CBR) et où une relation temporelle entre la source et la destination est requise.
- **Service B:** pour des flux en mode connecté qui utilisent une bande passante variable (VBR) et où une relation temporelle entre la source et la destination est requise.
- **Service C:** pour des flux en mode connecté qui utilisent une bande passante variable mais où une relation temporelle entre la source et la destination n'est pas requise.
- **Service D:** pour des flux en mode non-connecté (exemple: Internet) qui utilisent une bande passante variable et où une relation temporelle entre la source et la destination n'est pas requise.

Le AAL 3/4 est bien adapté pour les services C et D, et le AAL 5 est adapté pour le service C; un débat existe sur son efficacité pour la classe D.

- Les trames de la AAL 1 contiennent un CRC de 3 bits, ce qui permet de corriger donc 3 bits erronées en plus. Mais ce n'est que l'entête qui est protégée.
- Les trames de la AAL 3/4 contiennent un CRC de 10 bits, Toute la trame est protégée.
- La AAL 5 contient un CRC de 32 bits. Toute la trame est protégée.

Retransmissions

- Corrections d'erreurs: avec de FEC et de ARQ (Automatic Repeat Request):
 - (1) stop-and-wait ARQ,
Simple à implémenter mais à des délais énormes dans un lien satellite
 - (2) go-back- N ,
on peut continuer à transmettre sans ack. Quand un Nack arrive, il faut retransmettre les N derniers à la place du nouveau.
 - (3) selective-repeat. Retransmission que des cellules nackées. Les meilleurs performances.
Mais souvent (2) est préféré car la complexité de (3) est supérieure.

L'entrelacement (interleaving) de l'information

- L'entrelacement consiste à transmettre les bits d'information dans un ordre différent de l'ordre d'arrivée.
- Ce mécanisme est utile dans les liens qui souffrent d'erreurs en rafale.
- En présence de codes correcteurs qui permettent la correction d'un petit nombre de bits (ce qui est le cas des cellules ATM ou des trames AAL), une rafale d'erreurs risquent de créer un nombre d'erreurs trop grand pour être corrigé.
- L'effet des erreurs en rafale en présence de l'entrelacement est de distribuer une rafale d'erreurs sur des unités (cellules ou trames) différentes, ce qui augmente les chances de corrections des erreurs par les codes correcteurs existant dans l'ATM.
- Cela permet une diminution importante de taux d'erreurs dans l'ATM par satellites [Comsat: ATM Link Enhancer].

L'ajout de code correcteur

- Afin de réduire le taux d'erreur, les modems dans les connexions satellitaires utilisent typiquement des codes convolutionnels avec décodeurs de Viterbi.
- Cela réduit le taux d'erreurs (BER) à une valeur entre 10^{-3} - 10^{-5} [Ak97].
- Pour réduire encore le taux d'erreur, des codes concatennés (combinaisons de deux codes) sont utilisés.
- Au codes convolutionnels internes on ajoute des codes externes; souvent le code de Reed-Salomon est utilisé comme code externe.