

# Réseaux

## Chapitre 4 - ATM : Asynchronous Transfert Mode

Claude Duvallet

Université du Havre  
UFR Sciences et Techniques  
25 rue Philippe Lebon - BP 540  
76058 LE HAVRE CEDEX  
Claude.Duvallet@gmail.com

## Plan de la présentation

- 1 Introduction
- 2 La commutation de cellules
- 3 Le modèle de référence UIT-T

## Le modèle ATM (Introduction - 1)

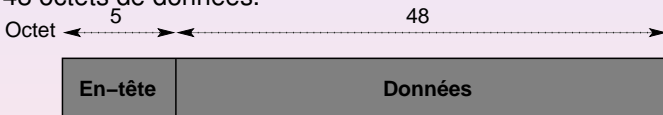
- Asynchronous Transfer Mode : mode de transfert asynchrone.
- Technologie de niveau 2 (OSI) et architecture Internet (comme TCP/IP).
- Élaboré au début des années 80 par les équipes du CNET Lannion.
- Des adresses sur 20 octets au lieu des 4 (IPv4) ou 16 (IPv6) de TCP/IP.
- Objectifs : permettre le transport de tous les types de trafic (voix, données, images) indépendamment du support physique.

## Le modèle ATM (Introduction - 2)

- Dorsale de LAN ou WAN.
  - Il est souvent utilisé sur des réseaux répondant à la norme SONET/SDH avec des fibres optiques monomodes,
  - Il y est généralement déployé à des vitesses de 2,5 Gbps ou 10 Gbps.
    - ATM/SONET 10 fois plus rapide que l'Ethernet Gigabit
    - ATM/SONET 100 fois plus rapide que FDDI
- La norme ATM définit tout un ensemble de protocoles de communication partant de la couche Application jusqu'à la couche Physique.
- Les différents modèles de service dans ATM sont :
  - le CBR : *Constant Bit Rate*,
  - le VBR : *Variable Bit Rate*,
  - le ABR : *Available Bit Rate*,
  - le UBR : *Unspecified Bit Rate*.

## Le modèle ATM (Introduction - 3)

- Les paquets ATM ont une taille fixe de 53 octets, on parle de cellules. Chaque cellule est composée de 5 octets d'en-tête et de 48 octets de données.



- L'ATM fait usage de circuits virtuels qui sont appelés canaux virtuels.

## La commutation de cellules (1/5)

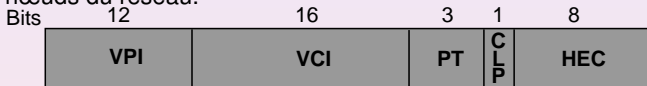
- Une commutation de paquets assez particulière car les paquets ne font que 53 octets.
- La très faible longueur des cellules est explicable.
- Exemple : la transmission de la parole téléphonique qui demande une liaison de 64 Kbit/s.
- Cette application possède deux contraintes très fortes :
  - une synchronisation très forte des données : un octet est transmis toutes les 125  $\mu\text{s}$  et doit être remis au décodeur toutes les 125  $\mu\text{s}$ .
  - Le délai de transmission doit être inférieur à 28 ms pour éviter tous les problèmes liés à la transmission des signaux (suppression des échos, adaptation, etc.).

## La commutation de cellules (2/5)

- Le temps de transit des octets pour la parole téléphonique est composé :
  - du temps de remplissage de la cellule par les octets ( $48 \times 125 \mu s = 6 \text{ ms}$ ),
  - du temps de transport de la cellule dans le réseau,
  - du temps de vidage de la cellule (6 ms).
- ⇒ Le temps total ne devant pas dépasser 28 ms, par conséquent après avoir retiré le temps aux extrémités, il ne reste plus que 16 ms pour le délai de propagation dans le réseau lui-même.
- Utilisation du mode connecté pour transmettre les cellules ATM :
  - une cellule n'est transmise que si un circuit virtuel entre l'émetteur et le récepteur a été ouvert.

## La commutation de cellules (3/5)

- Il existe deux en-têtes possibles suivant que la cellule provient de l'extérieur ou passe par un nœud de commutation à l'intérieur du réseau :
- l'interface NNI (Network-Node Interface) qui se situe entre deux nœuds du réseau.



- l'interface UNI (User Network Interface) qui est utilisée pour entrer dans le réseau ou pour en sortir.





## La commutation de cellules (4/5)

- Les en-têtes de cellule comportent les champs suivant dont certains sont communs aux deux types d'interface :
  - Deux numéros : VCI (Virtual Channel Identifier, identification de voie virtuelle) et VPI (Virtual Path Identifier, identificateur de conduit virtuel) qui permettent d'identifier une connexion entre deux extrémités du réseau.
  - Les bits GFC (Generic Flow Control) servent au contrôle d'accès et au contrôle du flux sur la partie terminale, entre l'utilisateur et le réseau.
  - Le bit CLP (Cellule Loss Priority) indique si la cellule peut être perdue (CLP = 1) ou au contraire si elle est importante (CLP = 0).

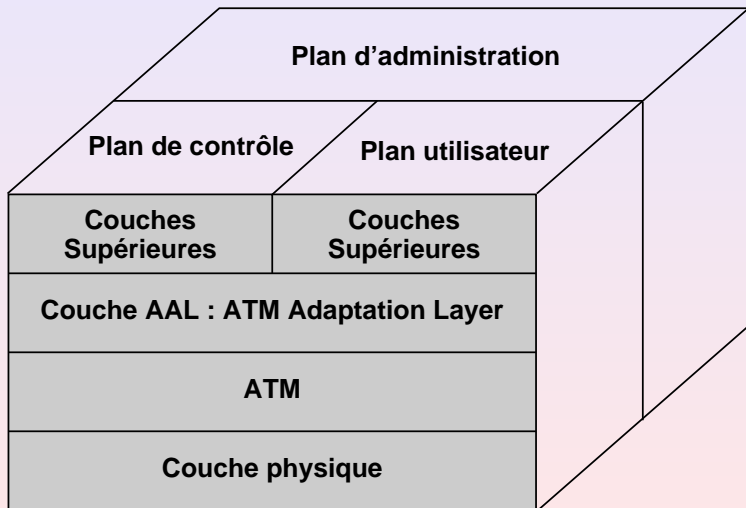
## La commutation de cellules (5/5)

- En-têtes de cellule (suite) :
  - Les 3 bits PT (Payload Type) définissent le type d'informations transportées dans la cellule. Il existe 8 valeurs possibles :
    - 000 Cellule de données utilisateur, pas de congestion : indication d'un niveau utilisateur du réseau ATM vers un autre utilisateur du réseau ATM = 0
    - 001 Cellule de données utilisateur, pas de congestion : indication d'un niveau utilisateur du réseau ATM vers un autre utilisateur du réseau ATM = 1
    - 010 Cellule de données utilisateur, congestion : indication d'un niveau utilisateur du réseau ATM vers un autre utilisateur du réseau ATM = 0
    - 011 Cellule de données utilisateur, congestion : indication d'un niveau utilisateur du réseau ATM vers un autre utilisateur du réseau ATM = 1
    - 100 Cellule de gestion pour le flux OAM F5 segment
    - 101 Cellule de gestion pour le flux OAM F5 de bout en bout
    - 110 Cellule pour la gestion des ressources
    - 111 Réservée à des fonctions futures
  - La zone HEC (Header Error Control) est réservée à la protection de l'en-tête. C'est-à-dire qu'elle permet de détecter et éventuellement de corriger les erreurs.

## Le modèle de référence UIT-T (1/2)

- Rôle principal
  - Prendre en charge les applications multimédia, c'est-à-dire la superposition de la voix, des données et de l'image.
- IUT-T versus OSI :
  - Le modèle OSI ne prenait en charge que les données : il correspondait aux architectures d'ordinateurs.
  - Le modèle UIT-T ne s'intéresse qu'au transport de bout en bout de l'information et non à son traitement aux extrémités du réseau.
- Trois couches :
  - La couche prenant en charge le transport des cellules sur le support physique.
  - La couche se préoccupant de l'acheminement des cellules de bout en bout.
  - Et la couche chargée de l'interface avec les couches supérieures et regroupant les cellules pour les délivrer à l'utilisateur.

## Le modèle de référence UIT-T (2/2)



## Le modèle ATM (Architecture)

- La couche physique :
  - Similaire à la couche réseau du modèle TCP/IP.
  - Chargée de la transmission des trames fournies par la couche supérieure.
  - Objectif : obtenir un support de transmission exempt d'erreurs.
- La couche ATM :
  - Transmission d'entités de petites tailles : les cellules ATM.
  - Commutation temporelle asynchrone.
  - Fonctions de gestion des erreurs de transmission.
- La couche d'adaptation à l'ATM (AAL) :
  - ATM Adaptation Layer.
  - Adapter les trames fournies par la couche réseau en cellule ATM.
  - Grand nombre de fonctions élémentaires nécessaires à cette opération.

## La couche ATM (1/4)

- Le champ « Contrôle de flux générique » (GFC, Generic Flow Control)
  - Champ uniquement présent sur l'interface UNI.
  - Il permet de contrôler les flux de cellules entrant dans le réseau, de les multiplexer et de diminuer les périodes de congestion du réseau de l'utilisateur final.
  - Son but est de garantir les performances requises par l'utilisateur final, comme la bande passante allouée ou le taux de trafic négocié.
  - Deux fonctions principales sont réalisées par le GFC :
    - le contrôle de flux à court terme ;
    - le contrôle de qualité de service dans le réseau de l'utilisateur final.
  - Ce champ n'existant que sur l'interface UNI et n'ayant pas de corrélation avec les autres champs, il ne peut donc pas transporter de l'information de bout en bout pour le contrôle des circuits virtuels individuels.

## La couche ATM (2/4)

- Les champs VCI/VPI (Virtual Channel Identifier / Virtual Path Identifier) :
  - Le rôle des conduits virtuels (VP) est de fournir des connexions semi-permanentes.
  - Le circuit virtuel (VC), la connexion de circuit virtuel (VCC), le conduit virtuel (VP) et la connexion de conduit virtuel (VPC) se définissent de la façon suivante :
    - VC est la capacité de communication pour le transport des cellules ATM. Un VCI est affecté à une liaison de VC qui transporte des cellules ATM entre deux nœuds.
    - VCC définit la connexion de bout en bout entre les deux points d'accès à la couche AAL. Elle est composée de la concaténation d'un ou plusieurs VC.
    - VP est un faisceau de VC qui ont les mêmes nœuds d'extrémités.
    - VPC est composée de la concaténation d'un ou plusieurs VP.

## La couche ATM (3/4)

- Le champ CLP (Cellule Loss Priority) :
  - Il indique si la cellule peut être perdue (CLP = 1) ou au contraire si elle est importante (CLP = 0).
  - Il permet de différencier deux classes de cellules d'une même connexion et de disposer de deux qualités de service en termes de pertes ou de temps de transfert.
  - Exemple : dans le cas d'un service vidéo, les cellules de synchronisation peuvent être prioritaires.
- Le champ HEC (Header Error Control) :
  - Utilisé par la couche physique pour la délimitation de la cellule et le contrôle d'erreur.
  - HEC permet de déterminer le début de la cellule :
    - Tant que la synchronisation n'a pas été trouvée, on génère un polynôme formé des quatre premiers octets et on le divise par le polynôme générateur.
    - Si le reste correspond au cinquième octet ce sont donc bien les cinq premiers octets d'une cellule.



## La couche ATM (4/4)

- Le champ Header Error Control (suite) :
  - La cellule est une trame et non un paquet car il est possible de détecter le début et la fin.
  - Il existe deux modes de fonctionnement :
    - un mode normal (par défaut) qui permet de détecter si un seul bit est en erreur et de corriger cette erreur,
    - s'il y a plusieurs erreurs alors la cellule est détruite (uniquement de la détection d'erreur).
  - HEC est calculé à l'aide du polynôme constitué par les bits du champ de contrôle (à l'exception de HEC) que divise le polynôme générateur.
  - Le polynôme générateur est le suivant :  $x^8 + x^2 + x + 1$

## La couche d'adaptation ATM (AAL) (1/2)

- Objectif : gérer l'interface avec les couches de protocole situées chez l'utilisateur.
- Elle doit supporter les besoins des différents utilisateurs du service d'AAL et donc permettre des protocoles multiples.
- Elle est composée de deux sous-couches :
  - la sous-couche de convergence (CS = Convergence Sublayer),
  - la sous-couche de segmentation et de réassemblage (SAR = Segmentation And Reassembly).
- La fonction essentielle de la couche SAR est de segmenter les données des couches supérieures en un ensemble de données correspondant à la taille des cellules.

## La couche d'adaptation ATM (AAL) (2/2)

- Au niveau du destinataire, la couche SAR rassemble les cellules pour restituer les données aux couches supérieures.
- La sous-couche CS dépend du service qui doit être rendu à l'utilisateur.
- Cette dernière fournit le service de l'AAL au point d'accès au service (SAP = Service Access Point).
- Les sous-couches peuvent être vides si la couche ATM est suffisante pour les exigences des utilisateurs.

## Les classes de service (1/5)

- L'UIT-T répartit les services du réseau ATM en quatre classes en fonction des trois paramètres :
  - la relation de temps entre la source et le destinataire,
  - le débit constant ou variable,
  - le mode de connexion.
- Services de classe A :
  - le débit est constant et le service est en mode connecté,
  - le service de type canal B à 64 Kbit/s en est un exemple,
  - la relation de temps entre la source et la destination existe.
- Services de classe B :
  - le débit est variable.

## Les classes de service (2/5)

- Services de classe C et D :
  - le débit est variable,
  - la relation de temps n'est pas nécessaire,
  - les transferts de données se font en mode connecté pour la classe C et en mode non connecté pour la classe D.
- Quatre types de protocole AAL ont été définis pour supporter ces quatre classes de service.
- L'AAL de type 1 :
  - support les services de la classe A, fournit un service d'émulation de circuit permettant d'utiliser toute la souplesse de l'ATM,
  - n'exploite pas l'efficacité de l'ATM provenant du multiplexage statique,
  - le service fourni par l'AAL-1 s'appelle le CBR (Constant Bit Rate).

## Les classes de service (3/5)

- L'AAL de type 2 :
  - définit pour supporter les services de la classe B,
  - exemple de service de ce type : le service vidéo à débit variable,
  - exploite la flexibilité et l'efficacité de l'ATM,
  - le service fourni par l'AAL-2 s'appelle le VBR (Variable Bit Rate),
  - abandonné dans les années 95 pour être redéfini dans le cadre d'applications ayant des contraintes temporelles fortes et un débit variable,
  - permet de multiplexer plusieurs connexions bas débits sur une connexion ATM pour tenir compte au mieux des contraintes temporelles.

## Les classes de service (4/5)

- L'AAL de type 3/4 :
  - supporte les services de données en mode connecté ou non, à débit variable, sans relation de temps,
  - le contrôle de flux entre les extrémités et la retransmission des fragments perdus sont possibles dans ce protocole,
  - exemples de services que peut rendre ce type d'AAL : X.25, relais de trames (FMBS, Frame Mode Bearer Services), signalisation, etc.
  - le principal service rendu est l'ABR (Available Bit Rate).
- L'AAL de type 5 :
  - un autre nom : SEAL (Simple and Efficient Adaptation Layer),
  - permet de transporter des trames de données non superposées en mode connecté (service de classe C),
  - comme pour l'AAL de type 3/4, le service rendu est de type élastique utilisant le service ABR.

## Les classes de service (5/5)

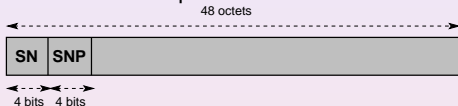
- À ces quatre types correspondent quatre structures de trames de la couche SAR appelées SAR-PDU (Segmentation And Reassembly - Protocol Data Unit).
- La sous-couche SAR :
  - Définitions des structures servant au transport de l'information.
  - Segmentation spécifique à chaque classe de service introduite par les services CBR, VBR et ABR.
  - Le niveau AAL d'adaptation doit permettre :
    - assembler, désassembler les cellules,
    - compenser le délai variable de la méthode ATM,
    - prendre en charge les cellules perdues,
    - récupérer la synchronisation horloge.



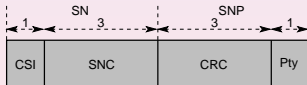
## SAR (Segmentation And Reassembly) (1/5)

- AAL-1 :

- correspond au service CBR et possède une SAR-PDU relativement simple :



- les champs SN (Sequence Number) et SNP (Sequence Number Protection) sont eux-mêmes subdivisés :



CSI Convergence Sublayer Information  
SNC Sequence Number Counter  
CRC Cyclic Redundancy Check  
Pty Parity bit

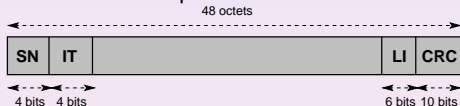
## SAR (Segmentation And Reassembly) (2/5)

- AAL-1 (suite) :
  - SNC numérote les cellules sur 3 bits (0-7) par séquences successives ce qui ne permet pas de perdre plus de 7 cellules successives.
  - SNP protège le numéro de séquence afin de ne pas avoir à détecter d'erreurs de déséquence. Il est donc composé d'une zone de détection d'erreurs et d'un bit de parité paire.
  - CSI permet de transporter une marque de temps RTS (Residual Time Stamp) pour caler l'horloge du récepteur ou délimiter les blocs de données. La marque de temps est sur quatre bits, transportée par le bit CSI d'une cellule sur deux (cellules impaires d'une suite de huit cellules).

## SAR (Segmentation And Reassembly) (3/5)

- AAL-2 :

- correspond au service VBR et possède une SAR-PDU relativement simple :

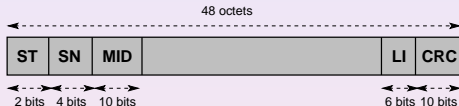


- SN (Sequence Number) permet de numérotter les trames modulo 8 ou 16.
- IT (Information Type) indique le début, la continuation ou la fin d'un message,
- LI (Length Indicator) permet de détecter la zone de données effectivement occupée sur les 45 octets disponibles,
- CRC (Cyclic Redundancy Checksum) permet de détecter les erreurs de transfert.

## SAR (Segmentation And Reassembly) (4/5)

### ● AAL-3/4 :

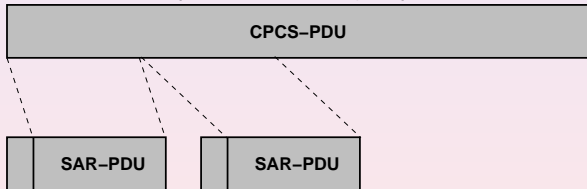
- transport sécurisé des données au moyen d'un CRC,



- ST (Segment Type) permet de structurer la communication :
  - BOM (Beginning Of Message) - Début : 10.
  - COM (Continuation Of Message) - Continuation : 00.
  - EOM (End Of Message) - Fin de segment : 01.
  - SSM (Single Segment Message) - Segment simple : 11.
- SN (Sequence Number) permet de numéroter les cellules modulo 16.
- MID (Multiplexing Identifier) est utilisé pour identifier les SAR-PDU appartenant à différent SAR-SDU. S'il n'y a pas de multiplexage, ce champs est mis à 0.
- LI et CRC : même chose que pour AAL-2.

## SAR (Segmentation And Reassembly) (5/5)

- AAL-5 :
  - But : prendre l'entité de niveau supérieur et la découper en tronçons de 48 octets pour l'introduire dans la zone de données de la cellule ATM.
  - Ce schéma de découpage provient d'études préalables de la part de l'IUT-T sur le protocole SEAL (Simple and Efficient AAL Layer).



- CPSC-PDU = unité de données du protocole commun de la couche CS.

## CS (Convergence Sublayer) (1/3)

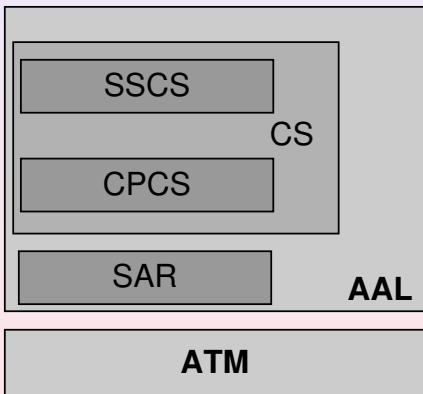
- Au-dessus de la couche SAR, elle définit le bloc d'informations à transporter de bout en bout par la couche ATM après fragmentation dans la couche SAR.
- Pour les classes 1 et 2, elle délimite un bloc qui sera découpé suivant les principes énoncés précédemment.
- Pour les classes 3/4 et 5, des fonctionnalités supplémentaires peuvent être introduites. La recommandation I.363 propose un découpage de CS en deux sous-couches :
  - la sous-couche supérieure SSCS (Service Specific Convergence Sublayer) qui peut être vide,
  - et la sous-couche inférieure CPCS (Common Part Convergence Sublayer).

## CS (Convergence Sublayer) (2/3)

- La couche CPCS prend en charge :
  - la délimitation,
  - le séquençement,
  - la réservation de mémoire aux extrémités,
  - la détection d'erreur (en classe 5).
- Les fonctionnalités de SSCS recouvrent :
  - la segmentation et le réassemblage,
  - le blocage et le déblocage,
  - la correction d'erreurs,
  - le contrôle de flux,
  - la remise, optionnelle, des segments de ce niveau au niveau supérieur,
  - le mode assuré, restreint aux communications en point à point.

## CS (Convergence Sublayer) (3/3)

- La taille maximale de la CS-PDU est de 65535 octets.
- L'architecture de la couche AAL est la suivante :





## Les classes de services de l'ATM Forum (1/2)

- CBR, VBR, ABR, UBR, GFR, DBR, SBR, ABR, ABT.
- Elles permettent de contrôler la qualité de service en attribuant les ressources à utiliser.
- L'ATM Forum a proposé cinq classes de service : CBR, VBR, ABR, UBR, GFR.
- L'IUT-T a repris ces propositions en les modifiant puis en ajoutant une nouvelle classe de service (l'ABT) : DBR, SBR, SBR+, ABR, ABT.

## Les classes de services de l'ATM Forum (2/2)

- CBR (Constant Bit Rate) : correspond à un circuit virtuel avec bande passante fixe. Parmi les services de cette classe, on retrouve la voix et la vidéo temps réel.
- VBR (Variable Bit Rate) : correspond à un circuit virtuel pour des trafics variables dans le temps. Parmi les services de cette classe, on retrouve l'interconnexion de réseaux locaux ou le transactionnel. Il existe une classe VBR RT (Real Time) qui prend en compte les problèmes de temps réel.
- ABR (Available Bit Rate) : permet d'utiliser la bande passante restante pour des applications à débits variables qui sont sensibles aux pertes. Un débit minimum doit être garanti. Le temps de réponse n'est pas garanti.
- GFR (Guaranteed Frame Rate) : amélioration du service ABR pour la complexité d'implantation sur un réseau.
- UBR (Unspecified Bit Rate) : correspond au meilleur effort (Best Effort). Pas de garantie ni sur les pertes ni sur le temps de transport. Ce service sans garantie de qualité de service n'est pas accepté par les opérateurs de télécom. Il est offert sur l'Internet.

## Les classes de services de l'UIT-T

- DBR (Deterministic Bit Rate) : la bande passante est allouée sur la base du débit crête, le « Peak Cell Rate » (PCR). Équivalent à CBR.
- SBR (Statistical Bit Rate) : la bande passante est allouée sur la base du débit crête, le « Peak Cell Rate » (PCR), du débit moyen, le « Sustainable Cell Rate » (SCR) et de la longueur totale de la crête déterminée par l'Intrinsic Burst Tolerance (IBT). SCR fournit la moyenne en dehors des crêtes et IBT fournit une idée de la durée pendant laquelle le débit est au niveau crête.
- SBR+ (SBR RT) (Statistical Bit Rate Real Time) : même chose que précédemment mais la contrainte de temps devient primordiale.
- ABR : même service que dans l'ATM Forum.
- ABT (ATM Block Transfer) : trouver une certaine souplesse tout en garantissant le taux d'erreurs et le temps de réponse. Service effectué par blocs de cellules pour lesquelles on indique le débit moyen. Similaire au service DBR mais pour un temps limité au bloc.

## Comparaison des modèles

