

Réseaux Haut Débit

- Etude de 3 architectures
 - ATM
 - commutation de cellules, circuits virtuels
 - MPLS
 - commutation de paquets IP
 - Commutation Ethernet et Vlan
- Quelques problèmes de débit
 - Architecture commutateur
 - Couche transport TCP

Réseaux Haut Débit

- 5 séances de TD et de TP
- (1er TD vendredi 20 février)
 - 2 TP ATM
 - 2 TP commutation ethernet (vlan, rstp)
 - 1 TP MPLS
- Assurés par
Pascal Gris et Philippe Pegon,
ingénieurs à la Direction Informatique UdS

Réseaux ATM

- Contexte début années 90
 - Évolution vers les hauts débits
 - Interconnexion de réseaux à débits différents
 - Interconnexion LAN-MAN-WAN
 - Intégration réseaux voix, données, vidéo
 - Applications multimédia
 - Nécessité de garanties de qualité de service (QoS ou QdS) pour certaines applications
 - => demande pour un RNIS large bande

RNIS large bande (B-ISDN)

- Suite du RNIS
 - ISDN = Integrated Service Data Network
 - RNIS = Réseau Numérique à Intégration de Service
- Un seul réseau pour
 - Large gamme débits
 - Toutes distances
 - Tous types de flux (multimédia)
- Possibilité de QoS garantie
- Normalisé (opérateurs de télécoms)

Asynchronous Transfer Mode : ATM

- Architecture de communication
 - Issue des travaux du CNET (FT R&D) et d'ATT (années 80)
 - Adoptée par l'ITU-T pour le B-ISDN
 - Adoptée par les professionnels (ATM forum, devenu MPLS forum)
 - <http://www.mfaforum.org>
 - => 2 séries de normes
 - ATM-forum pour réseaux privés
 - ITU-T pour réseaux publics

ATM : choix principaux

- Commutation de **cellules**
 - Paquets de petite taille fixe (53 octets)
- Mode connecté (**Circuits Virtuels**)
 - **Contrat de qualité de service**
 - Par connexion, entre utilisateur et réseau
- Asynchrone
 - entre entrées et sorties d'un commutateur
- Architecture
 - 3 couches : Physique, ATM, AAL
 - 3 plans : données/contrôle/gestion

Pourquoi des cellules ?

- Cellule =
paquet de 53 octets (dont 5 d'entête)
- Taille fixe
 - Simplicité gestion mémoire
 - Commutation par hardware
- Petite taille
 - Réduit les temps de transfert
 - Réduit la variabilité des délais (gigue)

Délai : exemple

Transfert d'un paquet

émetteur

récepteur



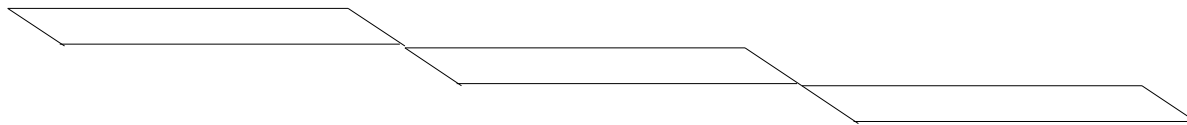
Temps =>

T_1 T_2 T_3 T_4

$$T_2 - T_1 = T_4 - T_3 = \text{délai propagation} = T_p$$

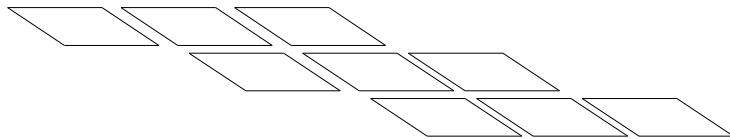
$$T_3 - T_1 = T_4 - T_2 = \text{temps émission} = L/d$$

exemple avec 3 liens



$$\text{Total} : 3 T_p + 3 L/D$$

$$\text{gain} = (s-1) (n-1) c/D \quad s = \# \text{ sauts}, L = n c$$



$$\text{Total} : 3 T_p + L/D + 2 c/D \text{ avec } L = 3c$$

Délai calcul

- Exemple à 155 Mb/s,
 - Émission cellule : $c/D = 2,7 \mu s$
 - Émission paquet de 1500 octets : $L/D = 77,4 \mu s$
 - $n = 1500/48 = 32$ cellules
- Si $s = 10$ liens à traverser
 - Cellule : $10 T_p + 77,4 \mu s + 31 * 2,7 \mu s$
 - Paquet : $10 T_p + 10 * 77,4 \mu s$
 - Différence environ $600 \mu s$

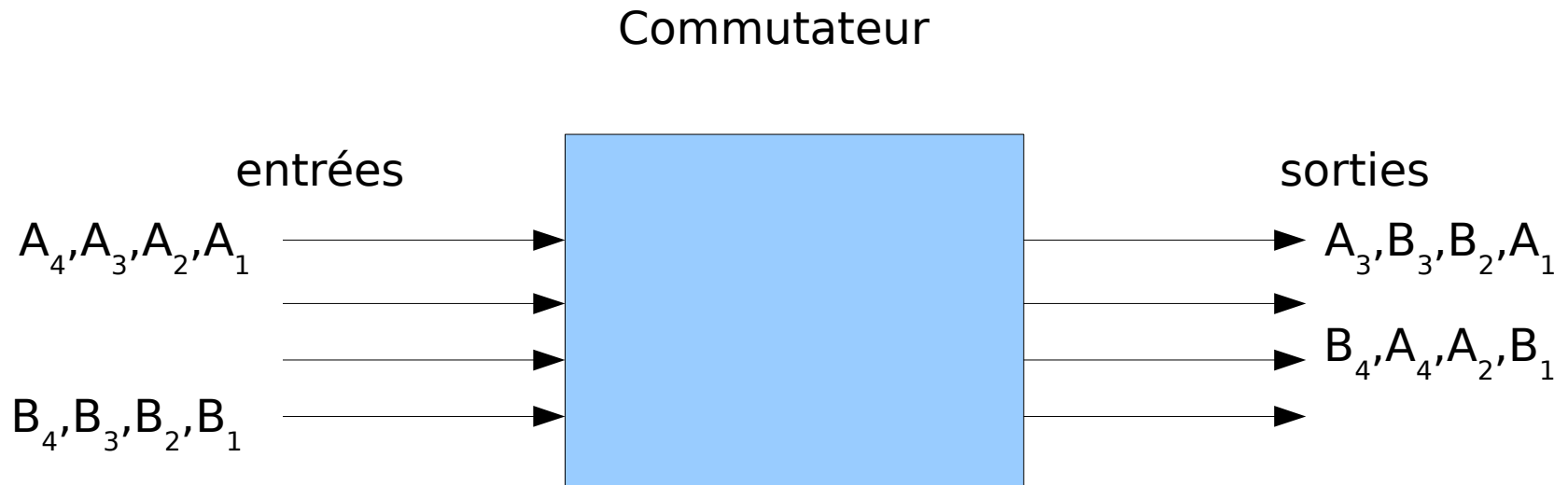
Taille cellule

- Autres avantages
 - meilleur contrôle de la gigue
 - un paquet peut être retardé dans chaque noeud
 - par émission paquet de taille maximale
 - même si prioritaire
 - meilleur multiplexage
 - cellules de même taille

Mode connecté

- Établissement d'une connexion
 - **avant** émission de cellules de données
 - Facilite la réservation de ressources
 - Permet le contrôle d'admission de connexion
 - Construction d'un **circuit virtuel** (CV)
 - Accélère la **commutation** des cellules
 - Permet une QoS différente par connexion

Commutation de cellules



Exemple avec 2 entrées, 2 sorties et 4 circuits

Mode asynchrone :

- 1 cellule est mise dans une file d'attente avant ré-émission
- en général au moins une file par sortie
- pas de synchronisation entre entrée et sortie
- ≠ réseau téléphonique (contrôle de gigue plus complexe)

Structure en couches

Protocoles supérieurs (par exemple IP)

couche AAL (ATM Adaptation Layer)

Convergence (adaptation aux couches sup.)

SAR Segmentation and Reassembly

couche ATM

commutation des cellules

couche physique

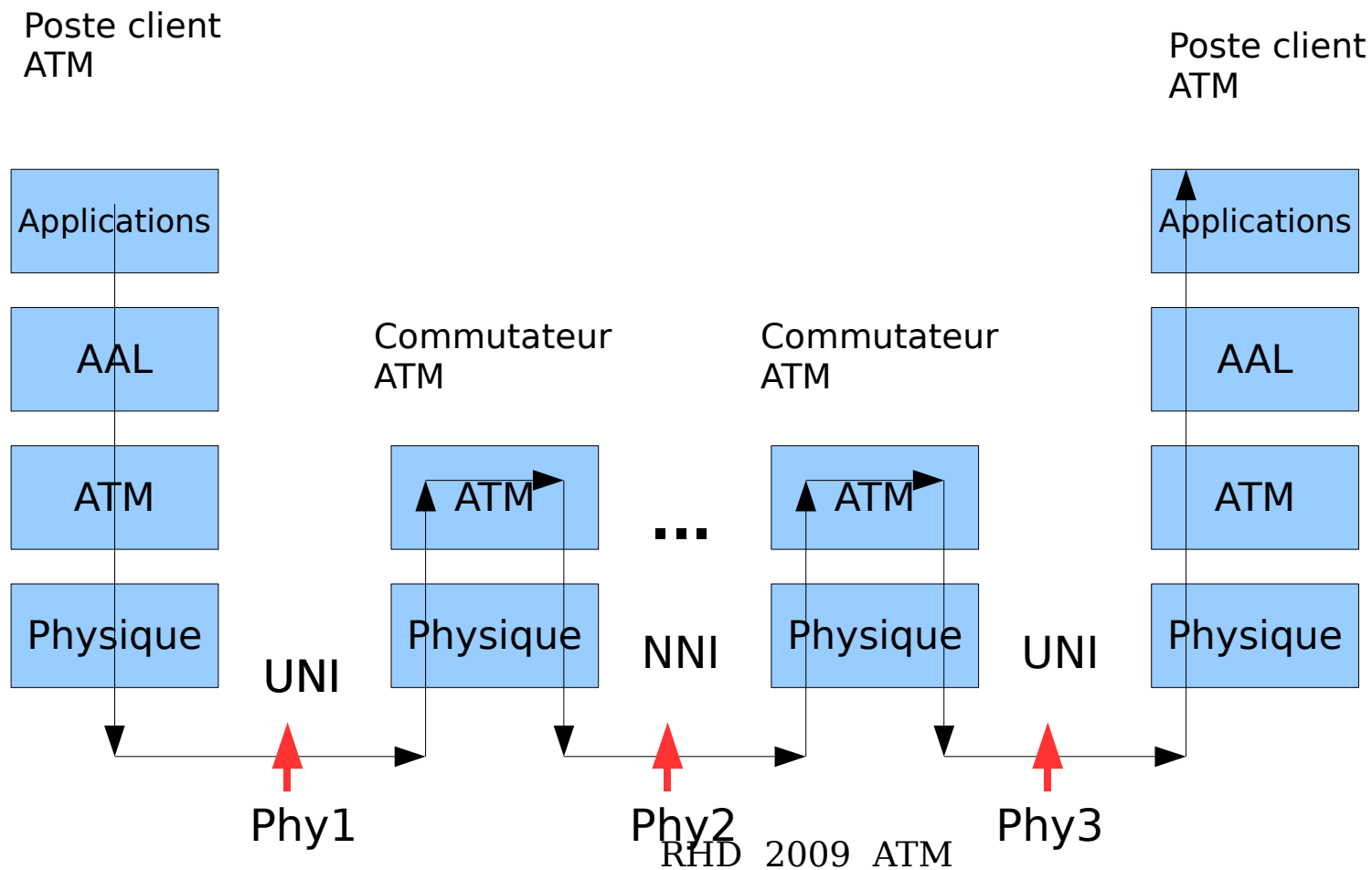
Transmission Convergence TC (génération/calcul HEC,)

Physical Media (adaptation au support physique)

Structure en couche (suite)

- La couche ATM (commutation) est universelle
- La couche AAL permet de s'adapter aux couches supérieures
- La couche physique permet de s'adapter aux supports de transmission

Architecture ATM



Couche physique (1)

- La sous couche TC
 - Génère le code HEC (Header Error Control)
 - Protège l'entête ATM (4 octets + 1 octet HEC)
 - Code polynomial $x^8 + x^2 + x + 1$
 - Corrige une erreur et en détecte 2
 - Contrôle le HEC en réception
 - Corrige si une seule erreur
 - Détecte (et jette cellule), si 2 erreurs
 - Insertion cellules vides (si support synchrone)

Couche physique (2)

- Sous-couche physical média
 - Codage approprié pour chaque médium
 - Couple support (cuivre/fibre/...) et débit
 - Peut utiliser une couche inférieure
 - SDH Hiérarchie Numérique Synchronone
 - Multiplexage de blocs de 155,52Mb/s : STM-n
 - SONET Synchronous Optical Network (USA)
 - Blocs de 51,84 Mb/s : OC-n

Débit Mb/s	Sonet	SDH
51,84	OC1	
155,52	OC3	STM-1
622,08	OC12	STM -4
1244,16	OC24	STM-8
2488,32	OC48	STM-16

Couche physique (3)

- Exemple de la trame STM1
 - 9 lignes de 270 octets
 - 10 premiers octets exploitation
 - Une trame tous les 125 μ s (téléphone), 8 kHz
 - Débit nominal $9 \times 270 \times 8 \times 8000 = 155,52$ Mb/s
 - Débit ATM $9 \times 260 \times 8 \times 8000 = 149,76$ Mb/s
 - Débit AAL $149,76 \times 48/53 = 135,63$ Mb/s

Couche Physique (4)

- Nombreux media supportés
 - 155 Mb/s sur cuivre (UTP5) ou 52 Mb/s (UTP3)
 - TAXI : 100 Mb/s sur fibre codage FDDI (4B5B)
 - 1,5 Mb/s T1 (2 Mb/s E1)
 - 25 Mb/s cuivre (proposition IBM)
 - E3 à 34 Mb/s ou T3 à 45 Mb/s
- Exemple sur Osiris
 - 155 Mb/s sur fibre multi (intra campus),
 - 622 Mb/s sur fibre mono,
 - 34 Mb/s sur FH (inter campus)

Couche ATM

- Reçoit, commute et émet des cellules

VPI ou GFC	VPI
VPI	VCI
VCI	
VCI	PT, CLP
HEC	
Payload 48 octets	

GFC : Generic Flow Control
(interface utilisateur UNI)

VPI : Virtual Path Identifier

VCI : Virtual Channel Identifier

PT : Payload Type

xyz

x = 0 cellule données

y = 1 : congestion

z = 1 : fin bloc AAL5

x = 1 cellule contrôle.

00 commut. adj.

01 commut. bout en bout

10 gestion ressources

11 réservé

CLP : Cell Loss Priority

1 = à détruire en priorité

HEC : Header Error Control

Couche ATM

- Indépendance couche physique et applications
- Fonctions de la couche ATM
 - Génération des entêtes de cellule
 - Commutation des cellules sur champ VPI/VCI
 - Multiplexage / démultiplexage
 - Supervision
 - Contrat passé lors connexion
 - contrôle de conformité
 - QoS demandée

Couche ATM : multiplexage

- Sur un même lien
 - Nombreuses connexions
 - Distinguées par champs VPI et VCI
 - 2^8 ou 2^{12} VP, 2^{16} VC par VP
 - Potentiellement 2^{24} connexions sur un lien
 - Hiérarchie : VP divisés en VC
 - Permet de commuter finement (VP+VC)
 - Ou grossièrement (par VP)
 - Chaque connexion a son contrat
 - identificateur VPI, VCI : signification **locale**
 - change à chaque saut

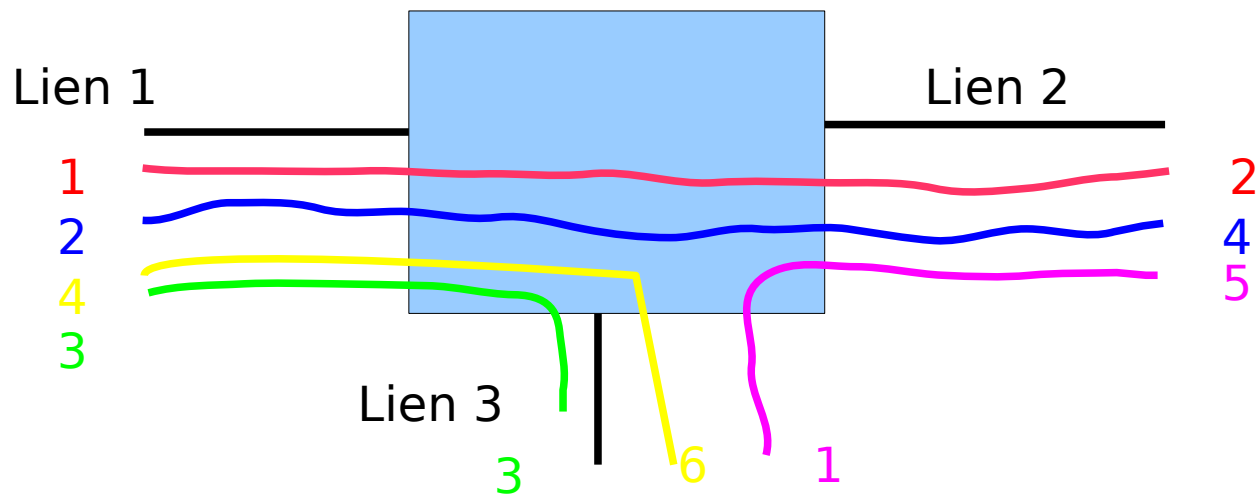
Couche ATM : commutation

- Lors de l'établissement d'une connexion
 - Choix d'un VPI/VCI libre sur chaque lien du chemin
 - Mis en correspondance dans les commutateurs: table de commutation
- Table : quadruplet
 - Interface entrée, VPI/VCI entrant
=> (interface sortie, VPI/VCI sortant)ⁿ

Commutation

- Commutation :
 - Ré-émettre sur 0, 1 ou n sorties en changeant le N° VPI/VCI
 - $1 < n$ pour les connexions point à multipoint
 - Cas particulier : l'entrée ou la sortie peut être locale
 - Trafic émis ou reçu localement
 - Par exemple VPI 0 VCI 5
 - Circuit prédéfini pour la signalisation (UNI)
 - Dans le cas de la commutation de VP :
 - Le numéro de VPI change mais pas celui de VCI

Commutation



Lien entrant	VCI in	Lien sortant	VCI out
1	1	2	2
1	2	2	4
1	3	3	3
1	4	3	6
2	2	1	1
2	4	1	2
2	5	3	1
3	1	2	5
3	3	1	3
3	6	1	4

RD 2009 ATM

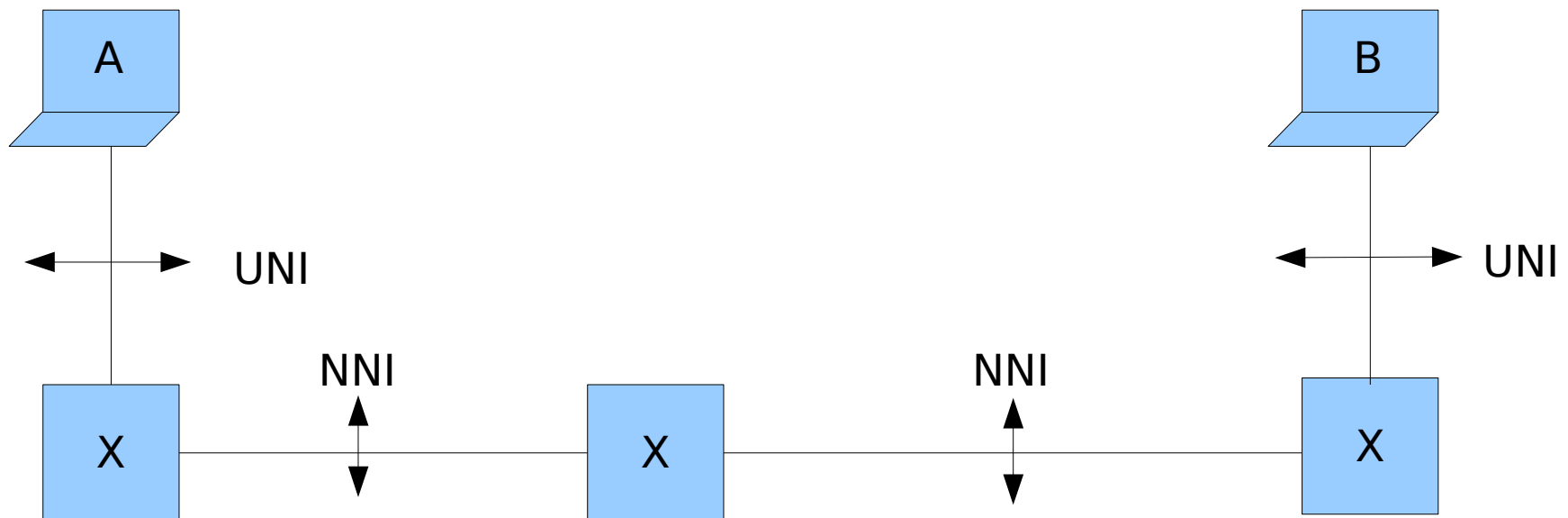
Commutation

- En général
 - Au moins une file d'attente par sortie
 - Plusieurs si priorités différentes
 - Eventuellement files d'attente par entrée
 - Gestion des arrivées simultanées
 - Files d'attente = délai variable (gigue)

Gestion des connexions

- Etablissement/rupture (plan de contrôle)
 - Deux types de connexions
 - PVC (Permanent Virtual Circuit)
 - Configurés « manuellement » sur chaque commutateur
 - Pannes ?
 - SVC (Switched Virtual Circuit)
 - établis dynamiquement sur demande utilisateur
 - Nécessite signalisation entre User et réseau et intra réseau
 - Hybride : Soft PVC
 - Demande « permanente » mais construction dynamique (reroutage)

Signalisation



UNI : User to Network Interface (asymétrique)

NNI : Network Node Interface (symétrique)

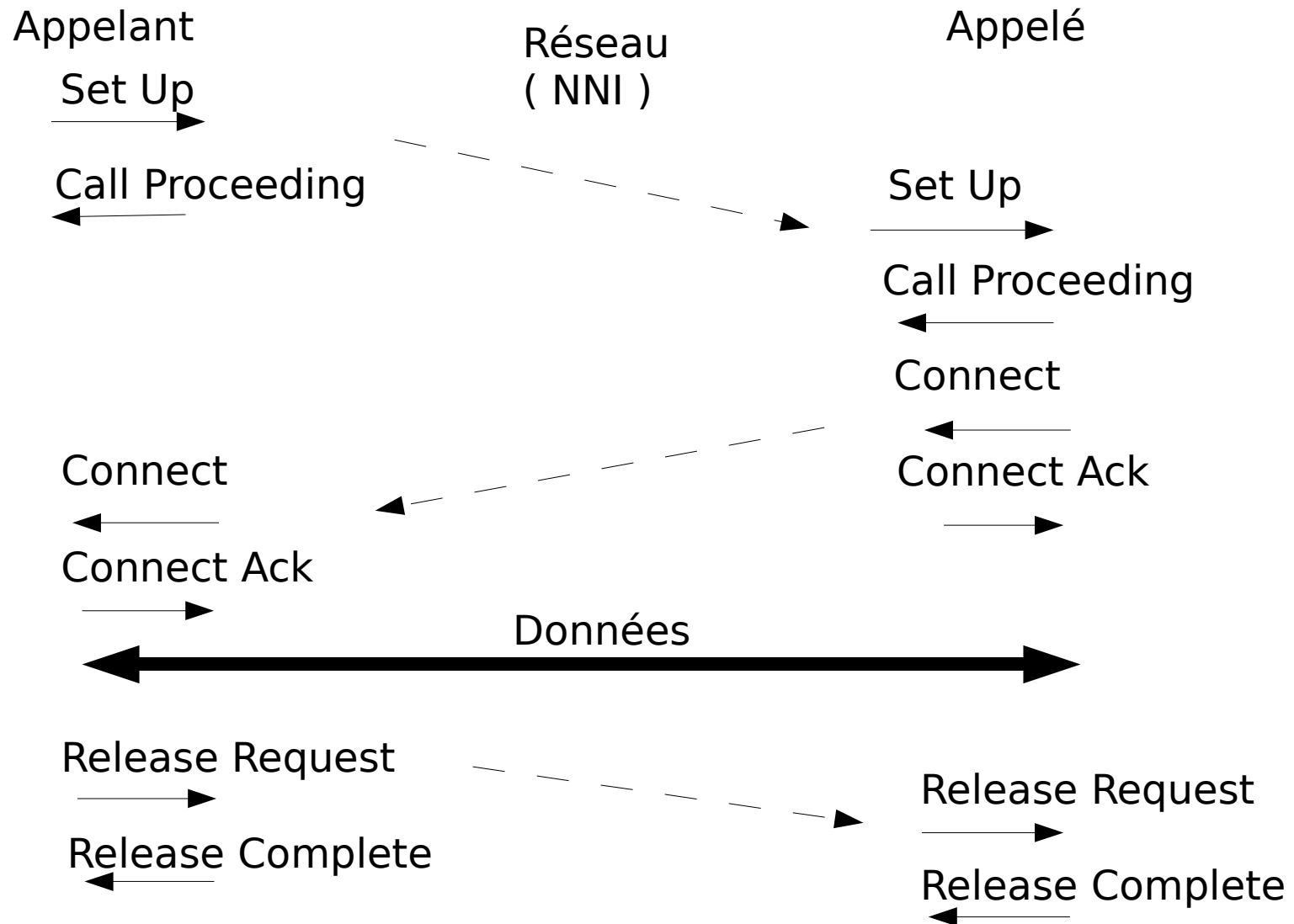
UNI

- Interface (signalisation)
 - Établissement et rupture de connexions
 - Paramètres de connexion
 - Plusieurs normes
 - Q2931 (UIT-T pour les réseaux publics)
 - UNI (ATM Forum pour réseaux privés)
 - UNI 3.0, 3.1 puis 4.0
 - La version 4.0 a introduit de nouveaux services
 - Leaf Initiated Join pour les CV point à multipoint
 - Connexions ABR, ...
 - Messages utilisent VPI 0, VCI 5, et AAL5

UNI (2)

- Plusieurs types de connexion
 - Unidirectionnelle
 - Bidirectionnelle symétrique
 - Point à multipoint (unidirectionnelle)
 - Note : problèmes multipoint à multipoint :
 - L'ordonnancement de sources multiples
 - Réserve de ressources (QoS) multisources

Séquence signalisation



Adressage ATM

- Adresses utilisées lors des connexions
 - Uniques à travers les réseaux
 - publics et privés
 - Plusieurs formats sur 20 octets
- Réseaux privés (ATM Forum)
 - Format OSI NSAP (ISO 8348)
 - IDI (Initial Domain Identifier) puis
 - DSP (Domain Specific Part)

Adressage ATM (2)

- Plusieurs sous formats
 - distingués par le 1^{er} octet
 - AFI = Address Family Identifier
 - AFI 39 = DCC, AFI 47 = ICD, AFI 45 = E164
 - Exemple DCC (Data Country Code) (#octets)
 - AFI (1), DCC (2), HO-DSP (10), ESI (6), SEL (1)
 - En France (DCC = 250F), Renater :
 - HO-DSP = 0000002D (Renater) 000101 (Réseau de site (ex Osiris) abcd (interne réseau ~ subnet)

Adressage ATM (3)

- Exemple E164 (adresses « à la RNIS »)
 - AFI = 45, N° E164 (8 = 16 chiffres), HO-DSP(6), ESI (6), SEL (1)
 - N° E164 permet d'accéder au numéro du réseau abonné
 - HO-DSP permet de subdiviser le réseau abonné
- ESI : End System Identifier
 - Identifie un hôte connecté à un commutateur
 - Principe (ATM Forum) : utiliser adresse MAC
- SEL : Selector
 - Permet de démultiplexer à l'arrivée suivant le service

Affectation adresses et ILMI

- Plan de gestion défini par ATM Forum
 - ILMI : Interim Link Management Protocol
 - Utilise SNMP et une MIB (RFC 1695)
 - Request/Response SNMP via AAL5
 - Utilise VPI 0, VCI 16
 - Le préfixe (13 octets)
 - Connu du commutateur => écrit dans l'hôte
 - ESI (adresse MAC)
 - connu de l'hôte => écrit dans le commutateur
 - Analogue construction adresse IPv6

Gestion des connexions

- Qualité et paramètres d'une connexion
 - Comment les décrire (paramètres)
 - Lors de la demande de connexion
 - => plan de signalisation UNI
 - => contrat hôte - réseau
 - Comment les mettre en oeuvre
 - Contrôle d'accès des connexions (CAC)
 - plan de signalisation UNI + NNI
 - Mettre en forme le trafic (trafic shaping)
 - Vérifier la conformité (policing)
 - Plan de données

Paramètres

- Descripteurs de trafic source
 - Débit crête **PCR** (Peak Cell Rate)
 - Débit soutenu **SCR** (Sustainable Cell Rate)
 - Longueur des rafales **MBS** (Max Burst Size)
 - Tolérance gigue **CDVT** (Cell Delay Variation Tolerance)
- Paramètres de performance
 - Taux d'erreur par cellule
 - Taux de perte de cellules
 - Délai de transfert par cellule
 - Variation de délai de transfert (**gigue** = jitter)

Classes de service (ATM Forum)

- Difficile implémenter toutes combinaisons
- Chaque classe
 - Ensemble limité de paramètres
 - Correspond à des types d'applications

Garanties	BP	Gigue	Pertes	Indic. congestion
CBR	Oui	Oui	Oui	Non
VBR-RT	Oui	Oui	Oui	Non
VBR-nRT	Oui	Non	Oui	Non
ABR	Non (sauf MCR)	Non	Oui	Oui
UBR	Non	Non	Non	(Oui)

Classes de service (CBR)

- CBR Constant Bit Rate

- Paramètre : PCR

- Applications qui émettent à débit constant

- audio/video non compressés

- Émulation de circuits

- Pertes et Gigue garantis

- Pour réaliser ce service : réserver PCR

- Cellules prioritaires et $\sum PCR_i < BP$ du lien

- Gigue dépend des entrées « simultanées »

- 10 noeuds à 10 ports à 155 Mb/s => $2,74 \mu s * 100$

- diminuer délai, gigue => sur-réserver

Classe de service VBR

- VBR Variable Bit Rate
 - Paramètre : PCR, SCR, MBS
 - Applications qui
 - émettent à débit variable et ne supportent pas de perte
 - VBR-RT (Real Time) : gigue garantie (audio/video compressée)
 - VBR-nRT (non Real Time) : gigue non garantie (app. Informatiques)
 - Plus « coûteux » que CBR
 - En VBR-RT : réserver le PCR (gaspillage)
 - En VBR-nRT : possibilité de multiplexage statist.
 - Mémoire = gigue

Classe de service UBR

- UBR Unkwown Bit Rate
 - Paramètre PCR (n'engage que la source)
 - Rien n'est garanti
 - => facile à implémenter :
En cas de problème jeter cellules
 - Peu efficace si
 - Perte d'une cellule entraîne perte paquet
 - voir AAL5
 - Ex : paquets de 20 cellules (environ 1 Ko)
 - Perte d'une cellule/20 => perte 100% paquets

Classe de service ABR

- ABR Available Bit Rate
 - Paramètres PCR, MCR (Minimum Cell Rate)
 - Débit source doit s'adapter au débit disponible (entre MCR et PCR)
 - Pas de contrainte de gigue
 - => possibilité de stocker en file d'attente
 - Files d'attente limitées => prévenir source
 - Contrôle de congestion (feedback)
 - Doit être équitable entre connexions ABR
 - À la TCP

Cohabitation différentes classes

- Flux CBR et VBR
 - Réserveation suivant PCR
 - BP insuffisante => connexion refusée (CAC)
- BP disponible
 - Non réservée ($\sum PCR_i < BP$) ou
 - Non utilisée par VBR (statistiquement)
 - Réutilisée pour ABR puis par UBR

Établissement des connexions

- Au Call Setup
 - Appelant passe via UNI
 - Adresse ATM appelée
 - Classe de trafic (CBR, ...) et paramètres (PCR, ...)
 - Réseau (premier noeud)
 - Calcule route suivant paramètres
 - Suivants info de routage PNNI
 - Installe CV (PNNI)
 - Si OK envoie Connect (UNI)
 - Sinon envoie Disconnect (UNI)
 - Contrôle d'admission

Routage PNNI

- Protocole à état des liens
 - À la OSPF ou IS-IS
 - Chaque routeur **diffuse** à tous les autres
 - État des liens adjacents avec métriques
 - Statiques
 - **Dynamiques** (BP disponible pour une classe p.e.)
 - Contenus dans PSTP : PNNI Topology State Packet
 - VP 0, VC 18
 - Contrairement à OSPF
 - Routes ne sont pas pré-calculées
 - **Hiérarchique** multi-niveaux
 - Groupe de routeurs élit un « leader »
 - Infos internes au groupe résumées par le leader

Calcul des routes

- Calcul « à la demande » (déclenché UNI)
- Premier routeur
 - Calcule route complète $C1, C2, \dots, Cn, \text{Dest}$
 - En fonction
 - Demandes appelant (PCR, ...)
 - État (ressources) du réseau (obtenu par PTSP)
 - exemple :
 - calcul du plus court chemin vers Dest
 - dont tous les liens ont débit disponible $> \text{PCR}$
 - Échec possible
 - si pas de route avec débit suffisant (CAC)

Positionnement route

- Envoie demande de connexion
 - En **routage source** $C_1, C_2, \dots, C_n$
 - Chaque C_i réserve BP, affecte N° VP-VC
 - construction table commutation
 - Transmet au suivant (ou erreur)
 - Routage source = pas de boucle

Contrôle de Trafic

- Connexion = contrat
 - Source s'engage (respect paramètres trafic)
 - Comment vérifier
 - Source (ou sortie réseau) :
 - **mise en forme (traffic shaping)**, espaceur
 - Revient à retarder des cellules
 - Réseau
 - Contrôle de **conformité (policing)**
 - Marquage (bit CLP =1)
 - ou élimination cellules non conformes

Contrôle de conformité

- Comment spécifier un débit (PCR, SCR, .)
 - Dépend de la période de mesure
 - ATM : GCRA : Generic Cell Rate Algorithm
 - Modélisé par un seau à fuite (Leaky Bucket)
 - 2 paramètres
 - Capacité du seau (en cellules) : C (en fait $C+1$)
 - Débit de la fuite (en cellules/s) : F
 - Débit sortant constant F (ou 0 si seau vide)
 - Cellule arrivant dans seau plein : non conforme

Algorithme LB(F, C)

Variables

$X = 0$ /* niveau du seau */

$DCC = 0$ /* instant dernière cellule conforme */

Arrivée cellule au temps t

$Y := \text{Max} (0, X - (t - DCC) * F)$ /* niveau actuel */

Si $Y \leq C$

alors /* cellule conforme */

$DCC := t$

$X := Y + 1$

Sinon /* cellule non conforme */

Fsi

PCR et LB

- En théorie
 - $\text{PCR} \Leftrightarrow$ délai minimal inter-cellule $1/\text{PCR}$
 - Peut être vérifié par $\text{LB}(\text{PCR}, 0)$
 - Cellule conforme au temps 0
 - Cellule suivante arrivant en t conforme ssi
$$X - t * F \leq C \Rightarrow 1/\text{PCR} \leq t$$
- En pratique
 - Tolérance « légère » CDVT
 - Capacité $C = \text{PCR} * \text{CDVT}$
 - Appliquer $\text{LB}(\text{PCR}, \text{PCR} * \text{CDVT})$

LB Exemple

- Exemple

- PCR = 10000 c/s (> 4 Mb/s)
- Supposons source sans espaceur, lien à 155 Mb/s
 - Problème réel :-(
- Envoie rafale de n cellules (donc tous les 2,74 μ s)
- Si on applique LB(PCR,0) (donc tolérance 0)
 - Deuxième cellule non conforme (car seau non vide)
- Si on applique CDVT = 1 ms $\Rightarrow C = 10$
 - Seau se remplit de environ 0,97 cellule par 2,74 μ s
 - Après la 12^{ème} cellule le seau est plein
 - Accepte rafale de 12 cellules (paquet $\sim$ 500 octets)
 - Pour accepter paquets de 1500 octets CDVT $\sim$ 3ms

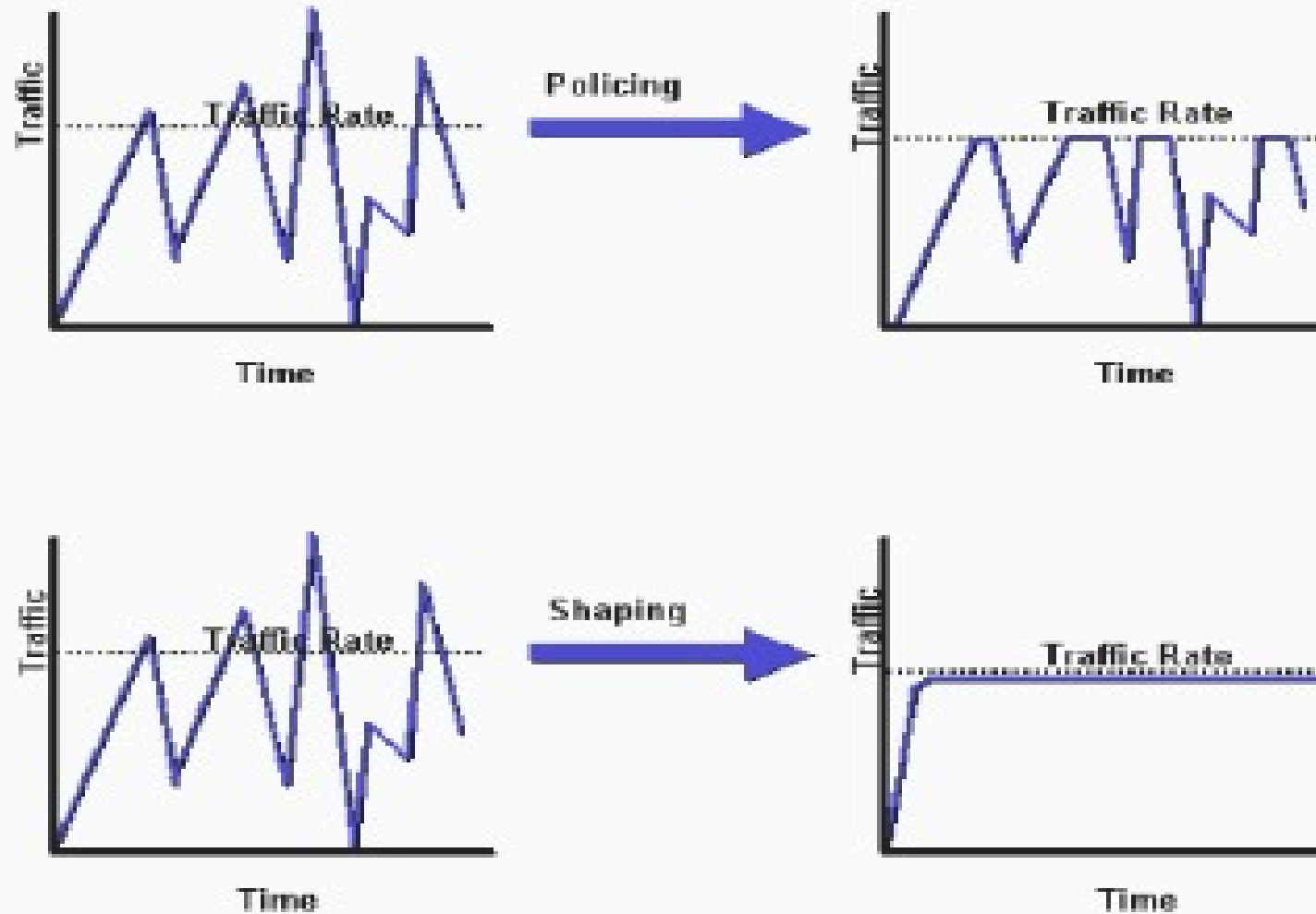
Contrôle du SCR

- On peut aussi contrôler le SCR
 - paramètre MBS (Max Burst Size)
 - $LB(SCR, MBS)$
 - PCR ne peut être atteint que pendant rafale
- Commutateurs en général 2 LB par CV
 - Réalisés par hardware
 - très simple 2 compteurs par CV

Espaceur

- Côté source : garantir conformité/contrat
 - Espaceur, « shaper » : mise en forme
- Algorithme seau à jeton
 - Token Bucket TB(F, C)
 - capacité C, fréquence jetons $F = 1/T$
 - Seau alimenté en jeton à intervalle T
 - Une cellule émise consomme un jeton
 - Seau vide $\Rightarrow$ cellule attend ($\Rightarrow$ file d'attente)
 - Si $C = 0 \Rightarrow$ espacement minimal T
 - Si $C \neq 0$ autorise des rafales limitées

Différence shaping / policing



Contrôle de flux/congestion

- Congestion possible
 - flux ABR ou UBR : pas de réservation du PCR
- ABR : prévenir la source
 - Et stocker pendant ce temps
 - EFCN Explicit Forward Congestion Notification
 - Congestion dans routeur : positionner bit EFCI (dans PT)
 - Permet de prévenir le récepteur
 - => devra prévenir la source

Contrôle de flux (2)

- Cellules RM (Resource Management)
 - Circulent dans les deux sens
 - Sur CV établi : distinguées par PT
 - Peuvent contenir
 - Bit CI (Congestion Indication) et/ou Débit explicite
- Plusieurs méthodes possibles
 - 1) EFCN
 - Cellules marquées par commutateur
 - Récepteur positionne CI dans RM
 - Source ralentit d'un facteur RDF (négocié au départ) dans la limite de MCR

Contrôle de flux (3)

2) commutateur marque CI

dans RM aller ou retour

source ralentit (comme en 1)

Augmentation pour méthodes 1 et 2

source augmente débit de $RIF * PCR$ si $CI \neq 0$

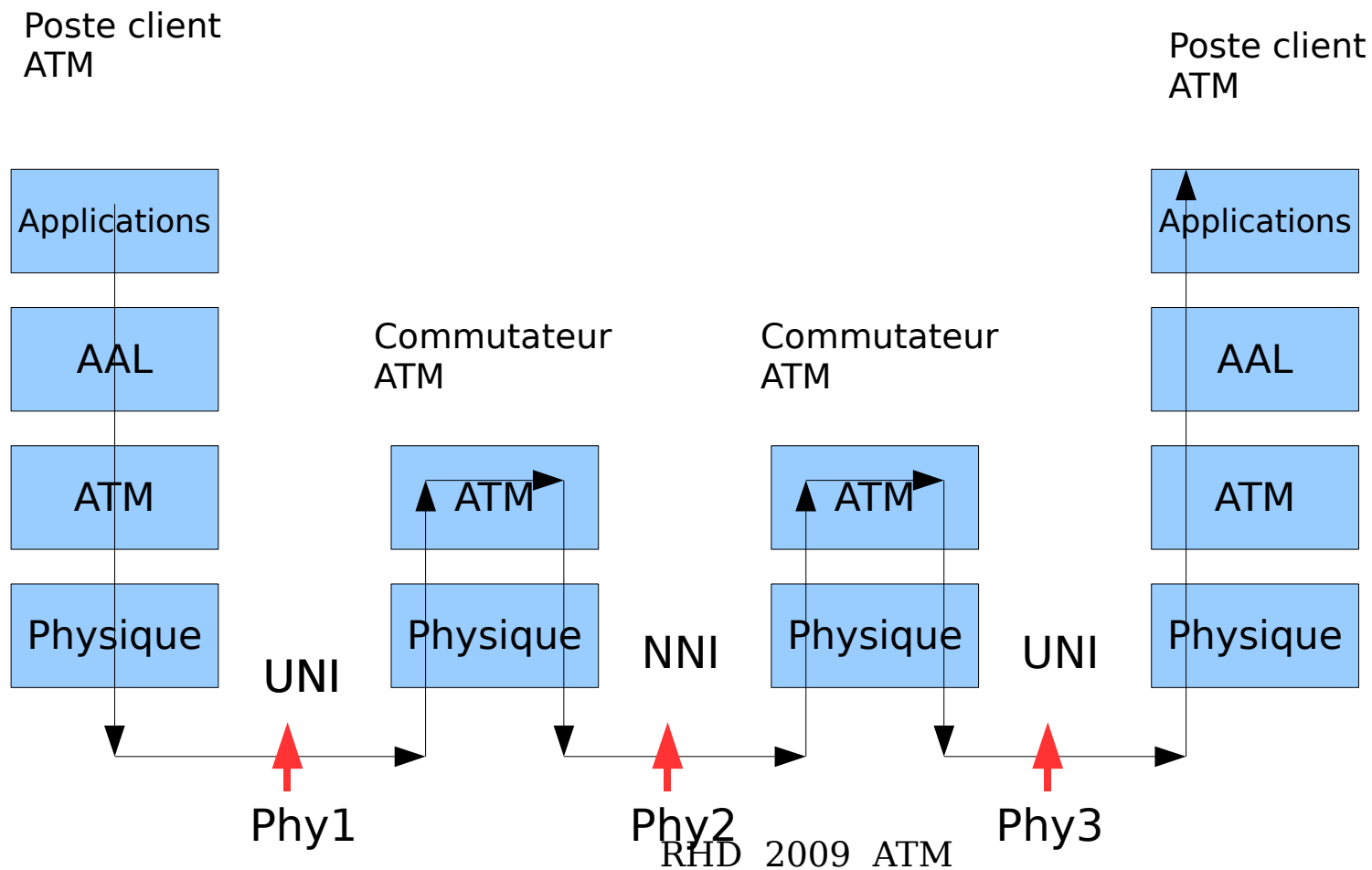
3) commutateur insère Débit Explicite

calcul équitable entre CV ABR

retourné à la source (directement ou via récepteur)

source s'adapte max (MCR, débit explicite)

AAL dans l'Architecture ATM



La couche AAL

- ATM Adaptation Layer
 - Adapte les flux des applications
 - Sous-couche SAR : découpe/assemble
 - Blocs de 48 octets
 - Sous-couche de convergence
 - resynchronisation/traitement gigue , ...
 - 4 classes de service définies
 - Débit constant/variable
 - Mode connecté ou non
 - Au niveau AAL (niveau ATM toujours connecté)

AAL1

- AAL1 (classe A)
 - Mode connecté, synchronisation
 - Débit constant CBR
 - Application type : voix
 - 48 octets : 47 octets de données + 1 entête
 - N° cyclique (3 bits), bit de synchro, crc sur 3 bits
 - Débit fixe => remplissage fixe

AAL2

- AAL2 pour classe B
 - Mode connecté, synchronisation
 - Débit non constant (type VBR)
 - Application type : vidéo compressée
 - 48 octets : 45 données, 3 entête
 - Numéro, continuation, longueur, checksum
 - Débit variable => découpage variable en cellules

AAL3/4

- Classes C (connecté) et D (non connecté)
 - Pas de synchronisation
 - Débit variable
 - Applications non temps réel (data)
 - Message avec 8 octets d'entête
 - Message (+ padding)
 - découpé en blocs de 44 octet
 - Chaque bloc => entête de 4 octets
 - Crc (10 bits), séquence (4), longueur (6), ...

AAL5

- Classe D (non connecté)
 - Débit variable, pas de synchro
 - applications informatiques non temps réel
 - PDU jusqu'à 64 Ko
 - Entête (*trailer*) de 8 octets dont longueur, crc (4o)
 - Découpé en blocs de 48 octets (padding avant trailer)
 - Bit de continuation PT entête ATM
 - 0 si pas dernière cellule du message
 - 1 si dernière (viol indépendance des couches)
 - Perte d'une cellule => perte 1 ou 2 messages
 - Utilisé par IP/ATM et Ethernet/ATM (LANE)