

ATM

- Origines - standardisation
- Principes d'un réseau de cellules
- Principes d'ATM
- Le modèle
- VP, VC, routage, AAL
- Commutateurs





Origines d'ATM

- ◆ **Asynchronous Transfer Mode**
- ◆ **Commutation rapide par paquets.**
 - la source et le réseau ne sont pas synchronisés
- ◆ **Protocole développé au CNET (Lannion) à partir de 1982 sous le nom de ATD**
 - ◆ **ATD : Asynchronous Time Division**
 - Démarche similaire chez ATT et chez d'autres opérateurs télécom
 - » Fast Packet Switching
 - Mieux utiliser les bandes passantes des liaisons internationales ...
 - Transporter un quelconque service indépendamment de ses caractéristiques.
 - » Intégrer les nouveaux trafics (rafales),
supprimer les silences,



Normalisation et standards.

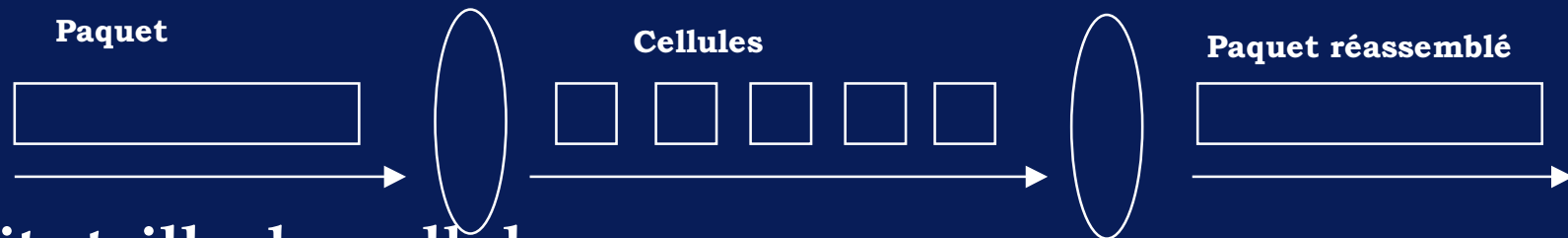
- ◆ **Mode de transfert adopté par l'ITU (ex CCITT) pour le B-ISDN**
 - » **B-ISDN** : Broadband ISDN
 - » **CCITT** : Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphone.
 - » **ITU** : International Communication Union

- ◆ **ATM Forum**
 - **UNI, Traffic Management**
 - **LANE**
 - **Interface commutateur-commutateur, routage : PNNI**
 - **MPOA**

- ◆ **IETF : IP Over ATM**

Réseau de cellules

- ◆ Idée de base : transmettre toutes les données dans des petits paquets de taille fixe.
- ◆ Paquets : blocs de données avec des informations de contrôle placées dans un en-tête.



■ Petite taille des cellules

- Moins de gaspillage de place, les cellules sont toutes remplies par de l'information
- Optimisation du temps d'insertion des cellules sur le support de transmission
- Optimisation du délai de transmission , technique "store and forward" aussi performante que la technique "cut through"

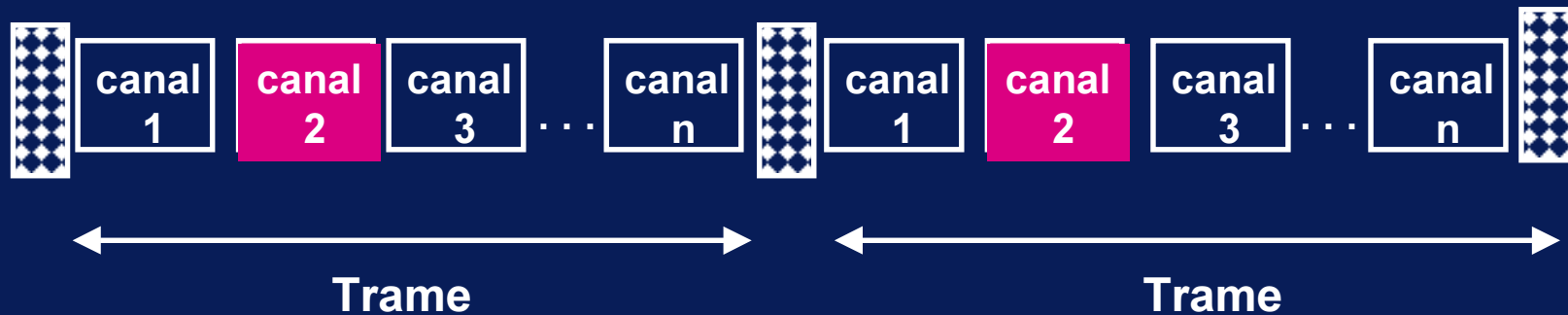


Réseau de cellules Horloges

- ◆ Dans un réseau temporel numérique, les informations se présentent aux noeuds de commutation :
 - sous forme cyclique lorsqu'il s'agit de circuits
 - d'intervalles de temps pour les paquets
- ◆ Le système émetteur fournit son horloge au noeud de commutation:
 - synchrone
 - » les horloges ont la même fréquence.
 - plésiochrone
 - » même rythme théorique, les horloges sont voisines mais pas synchrones.
 - asynchrone
 - » aucune relation entre les horloges.

Réseau de cellules

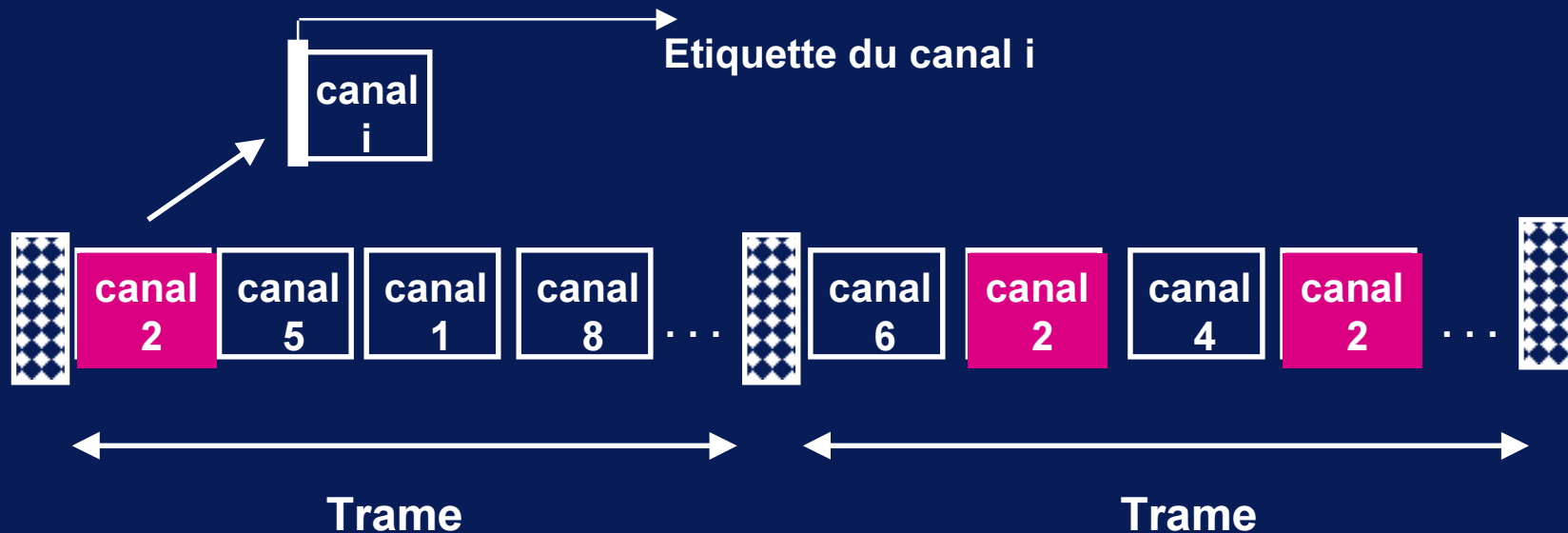
Multiplexage temporel synchrone



- ◆ Chaque élément (slot) numéroté n est réservé à un canal n
 - » un canal = une communication
 - le temps est découpé en trames successives contigües et de durée constante
- ◆ Bande passante fixe.
- ◆ Délai constant lors de l'acheminement.
- ◆ Si silence dans la communication
 - Élément "vide" = Gaspillage de la bande passante

Réseau de cellules

Multiplexage temporel asynchrone



- ◆ Plus de synchronisme entre les trames (trames acycliques)
- ◆ S'il n'y a pas d'assignation fixe de "slot" chaque unité d'information doit être étiquetée
- ◆ Il n'y a pas de "slot" vide
- ◆ Slot de longueur fixe (simple) ou variable (plus compliqué)
- ◆ Le commutateur a plus de travail



Réseau de cellules Commutation

- ◆ **Plusieurs modes de transfert d'information adaptés à des services.**
 - la principale caractéristique est la technique de commutation aux noeuds de communication.
 - de la plus simple à la plus complexe :
 - » commutation de circuit.
 - » commutation de circuit multidébit.
 - » commutation rapide de circuit.
 - » mode de transfert asynchrone.
 - » commutation rapide par paquet.
 - » relais de trame.
 - » commutation de trames.
 - » commutation par paquets.



Réseau de cellules : Commutation synchrone

◆ Commutation de circuit

- circuit établi pour la durée de la connexion.
- transport des informations sur le principe TDM (STM)
 - » TDM : Time Division Multiplexing
 - » STM : Synchronous Transfer Mode
- transfert avec une certaine fréquence de répétition :
 - » 8 bits toutes les 152 μ s à 64 Kbps
 - » 1000 bits toutes les 125 μ s à 8 Mbps
- un seul débit binaire pour l'ensemble des services (même nombre de bits par tranche de temps).

◆ Evolution :

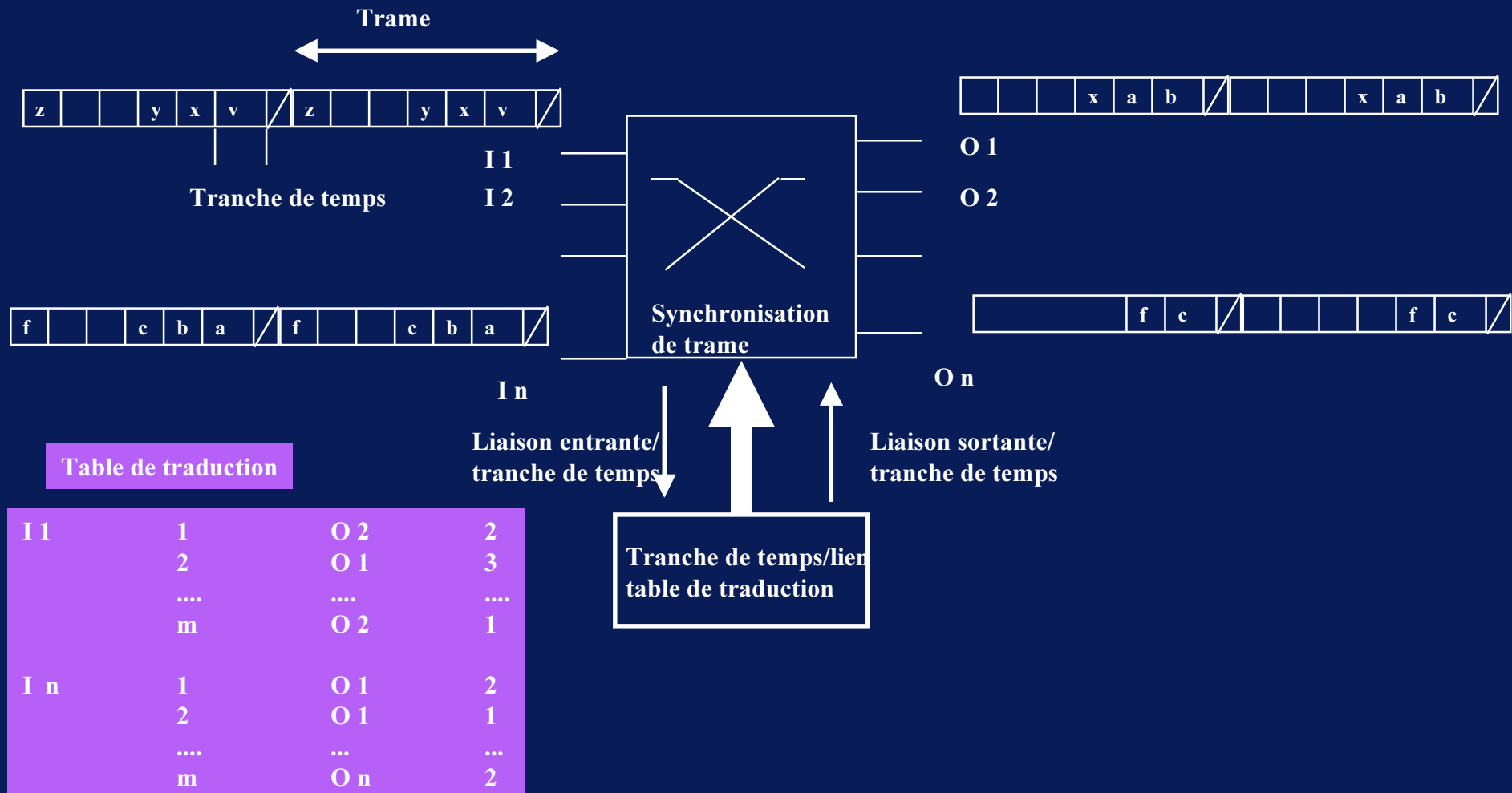
- commutation de circuits multidébit (Multirate Circuit Switching).
- commutation rapide de circuits (Fast Circuit Switching).



UREC

Réseau de cellules

Commutation synchrone





Réseau de cellules

Commutation asynchrone

◆ Commutation par paquets

- disparition du caractère cyclique d'arrivée et de départ des blocs d'information
- en-tête utilisé pour le routage, la correction d'erreurs, le contrôle de flux, etc.

◆ Trois modes d'acheminement des paquets dans le réseau :

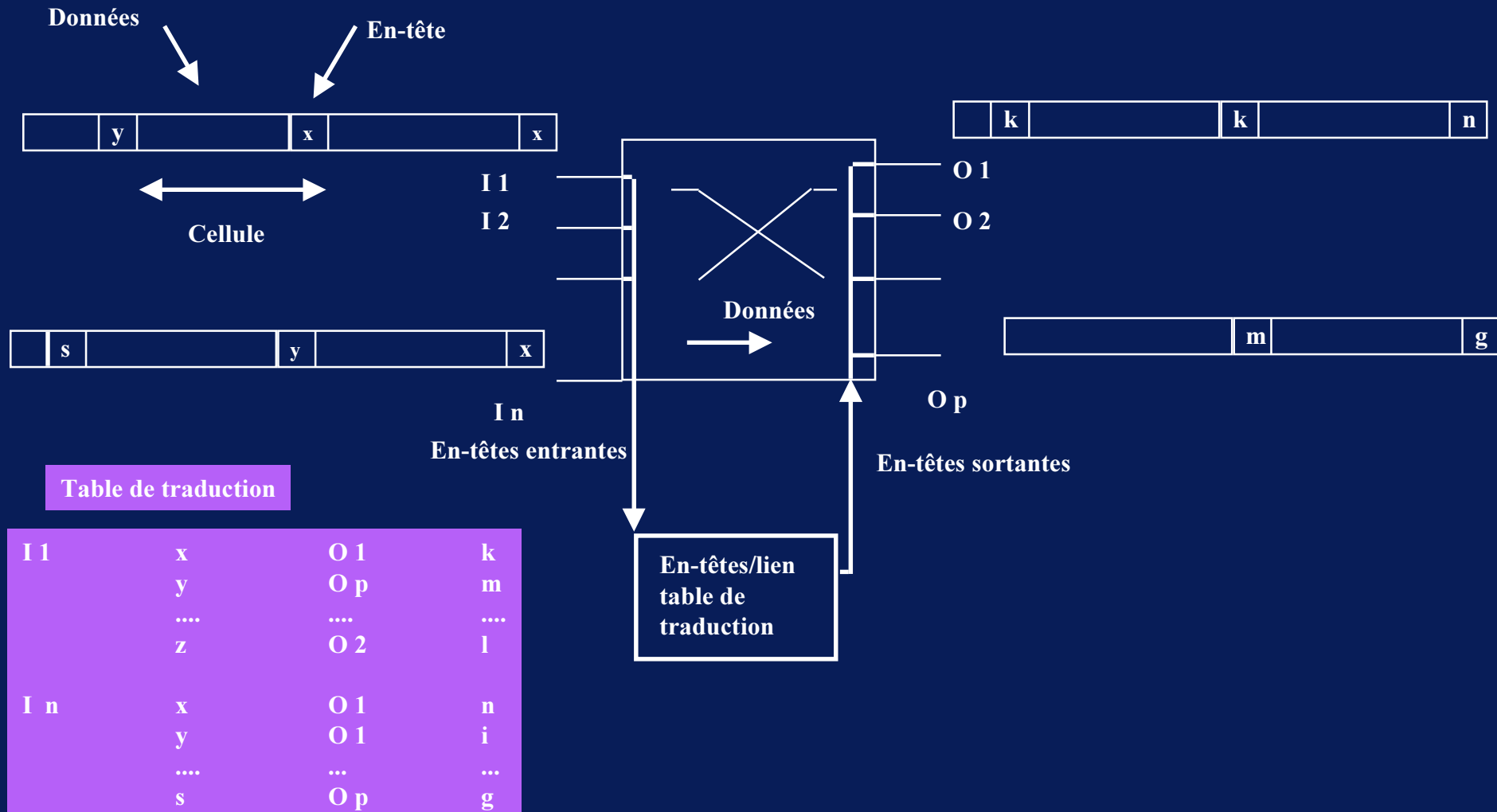
- datagramme : mode non connecté
- circuit virtuel : mode connecté, signalisation
- auto-acheminement : source routing



UREC

Réseau de cellules

Commutation asynchrone



Réseau de cellules

Trame, cellule, temps de propagation

◆ Exemple:

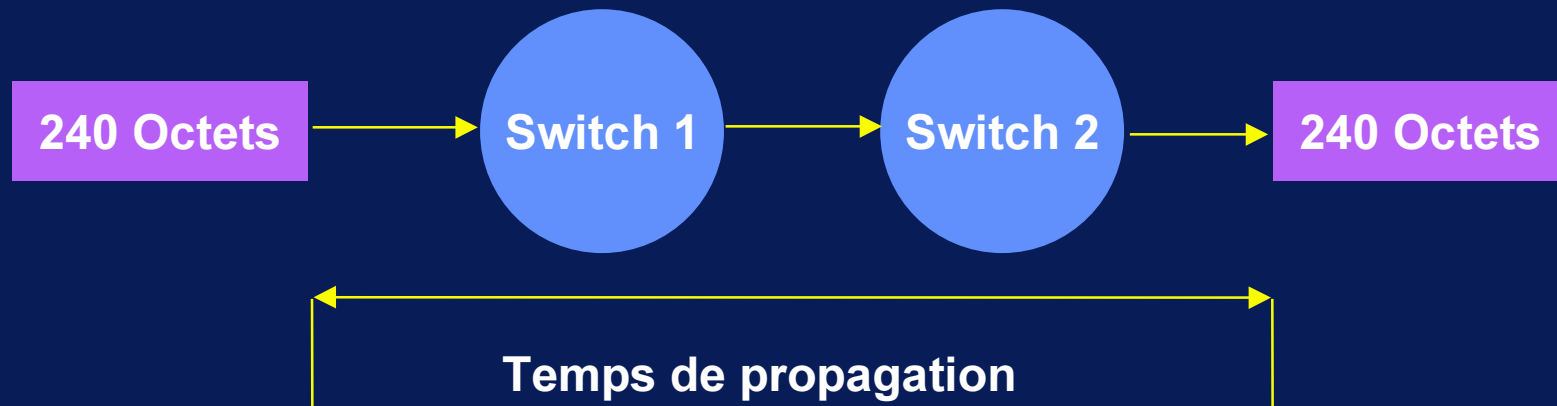
- Transmettre une trame de 240 octets à travers 2 commutateurs

◆ Hypothèses :

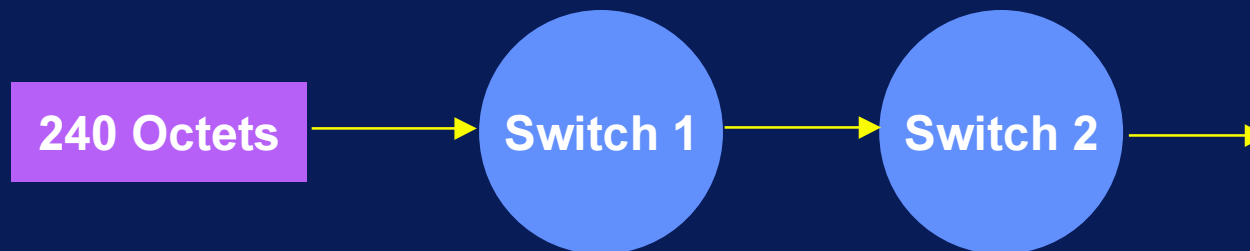
- Lien à 240 bytes/sec
- Commutateurs infiniment rapides

◆ Calcul:

- Temps total de propagation



exemple du transfert de trame



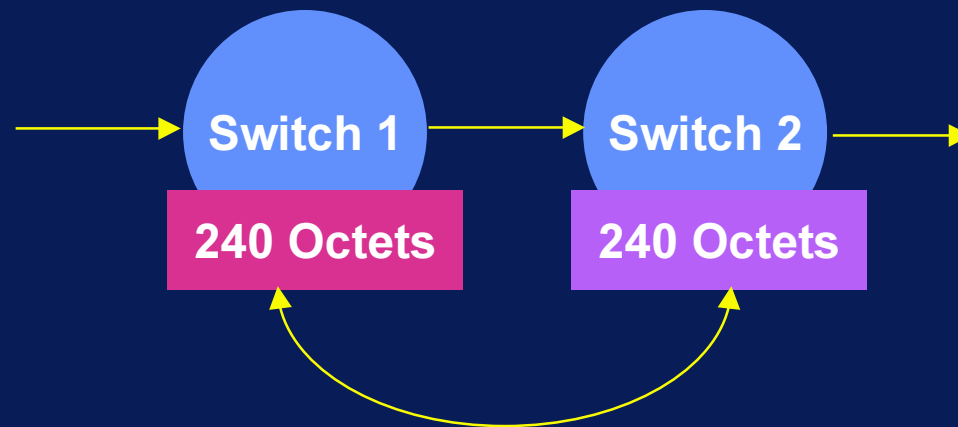
Temps écoulé = 0 seconde

exemple du transfert de trame



Temps écoulé = 1 seconde

exemple du transfert de trame



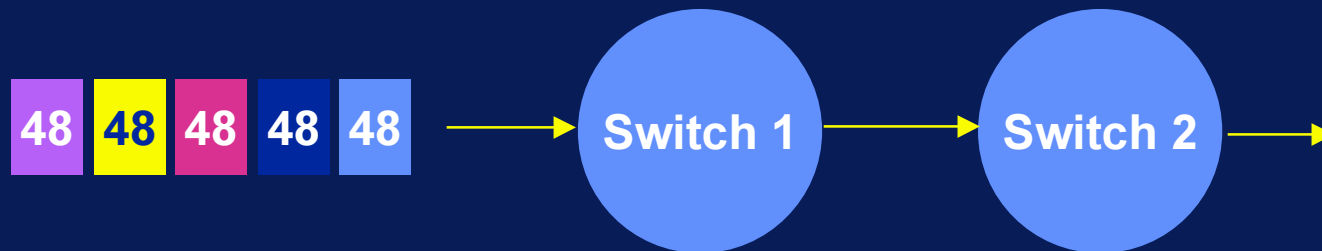
Temps écoulé = 2 secondes

exemple du transfert de trame



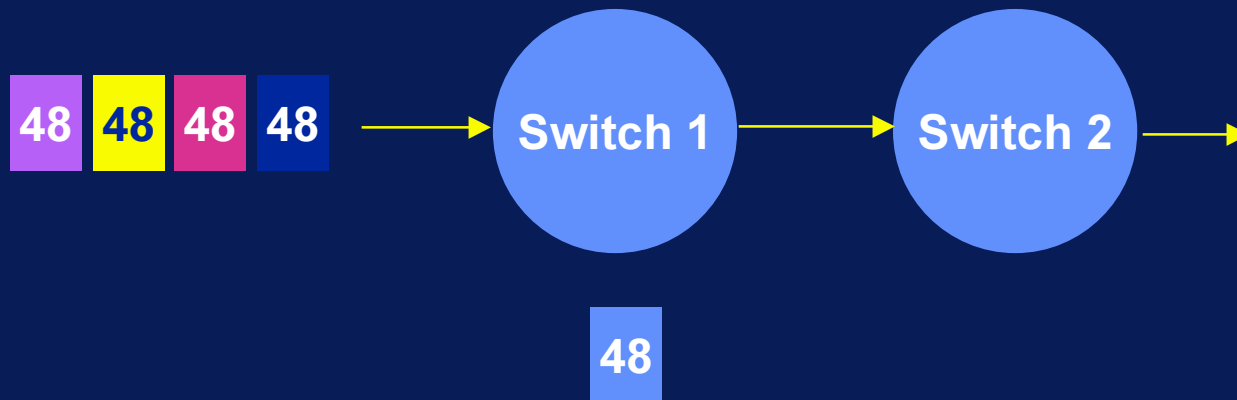
Temps écoulé = 3 secondes

exemple du transfert de cellule



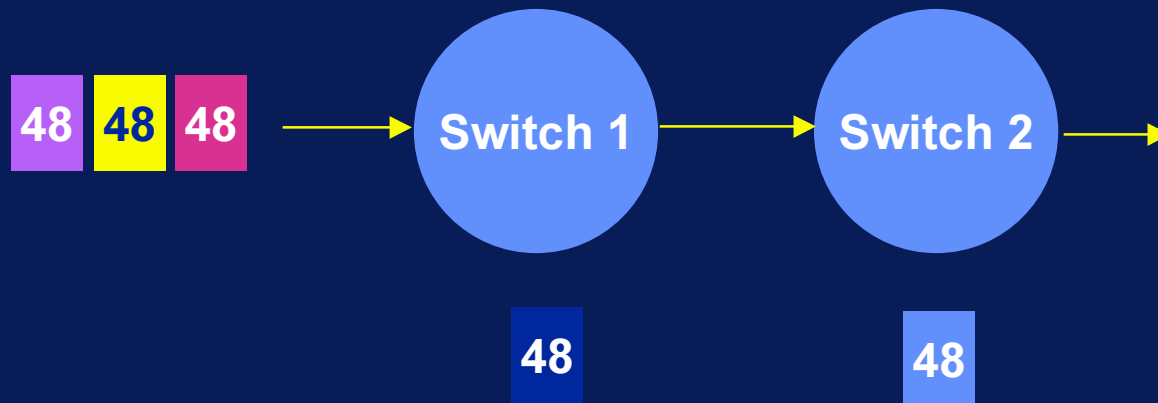
Temps écoulé = 0 seconde

exemple du transfert de cellule



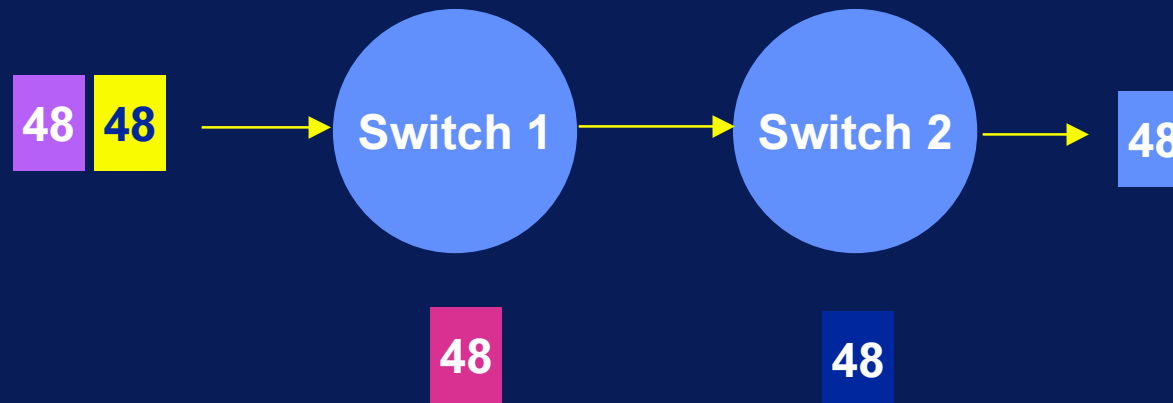
Temps écoulé = .2 seconde

exemple du transfert de cellule



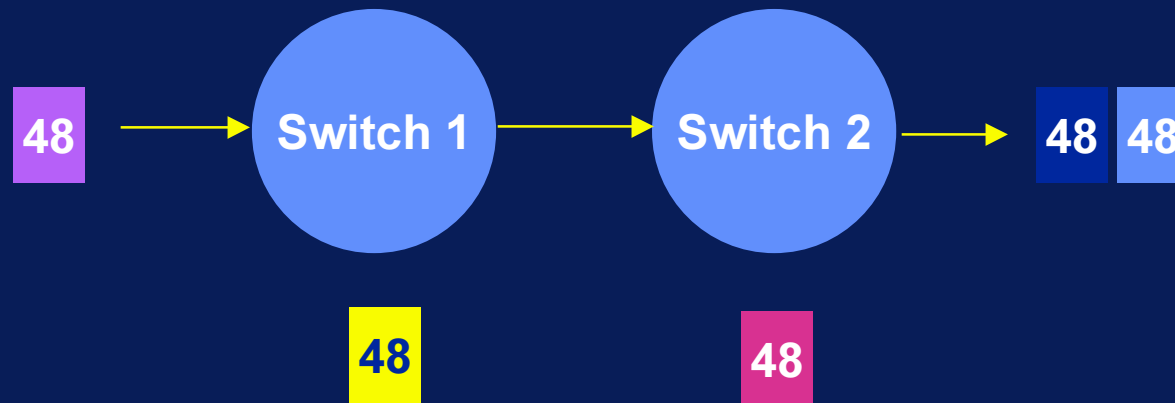
Temps écoulé = .4 seconde

exemple du transfert de cellule



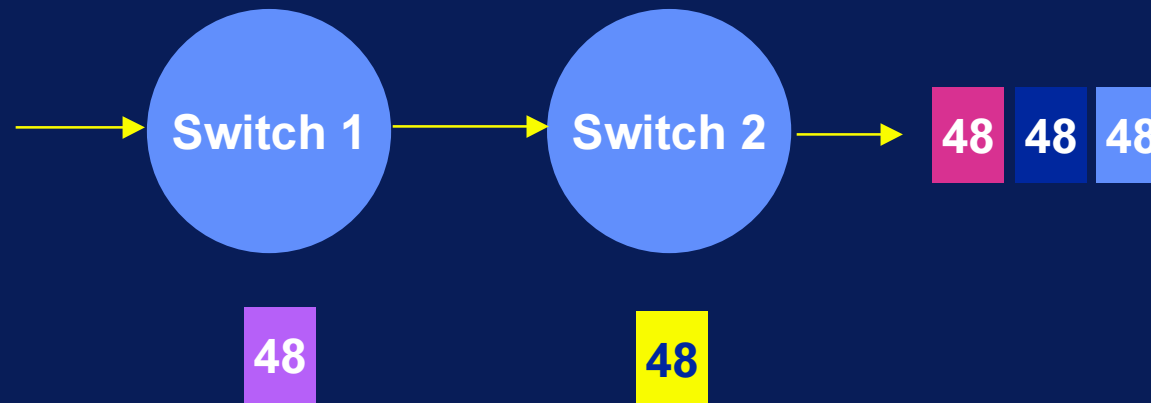
Temps écoulé = .6 seconde

exemple du transfert de cellule



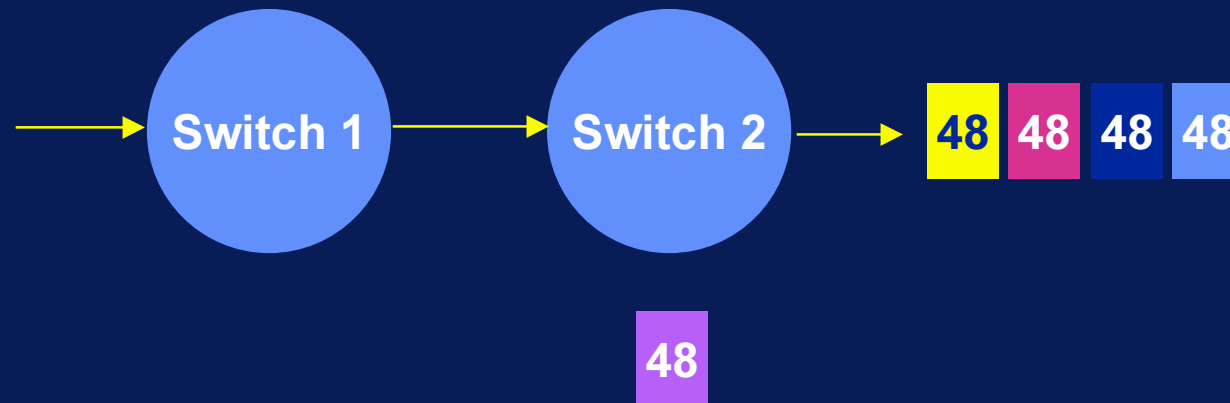
Temps écoulé = .8 seconde

exemple du transfert de cellule



Temps écoulé = 1.0 seconde

exemple du transfert de cellule



Temps écoulé = 1.2 seconde

exemple du transfert de cellule

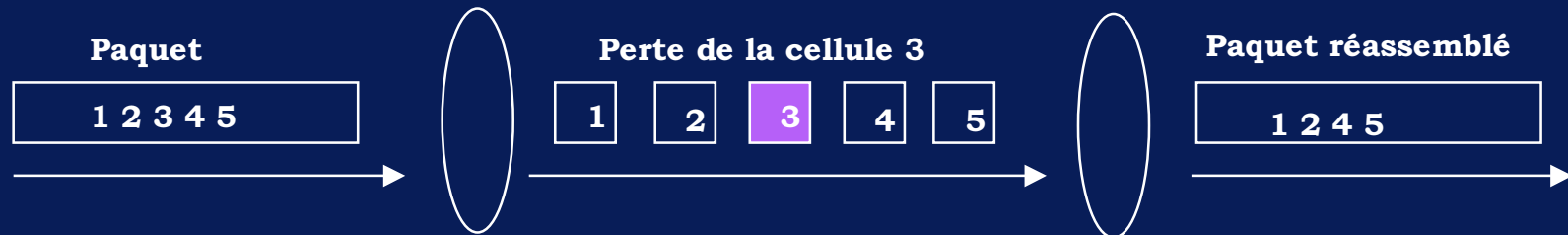


Temps écoulé = 1.4 seconde

Réseau de cellules

Fragmentation

- ◆ Conçu sur l'hypothèse de non retransmission des cellules.



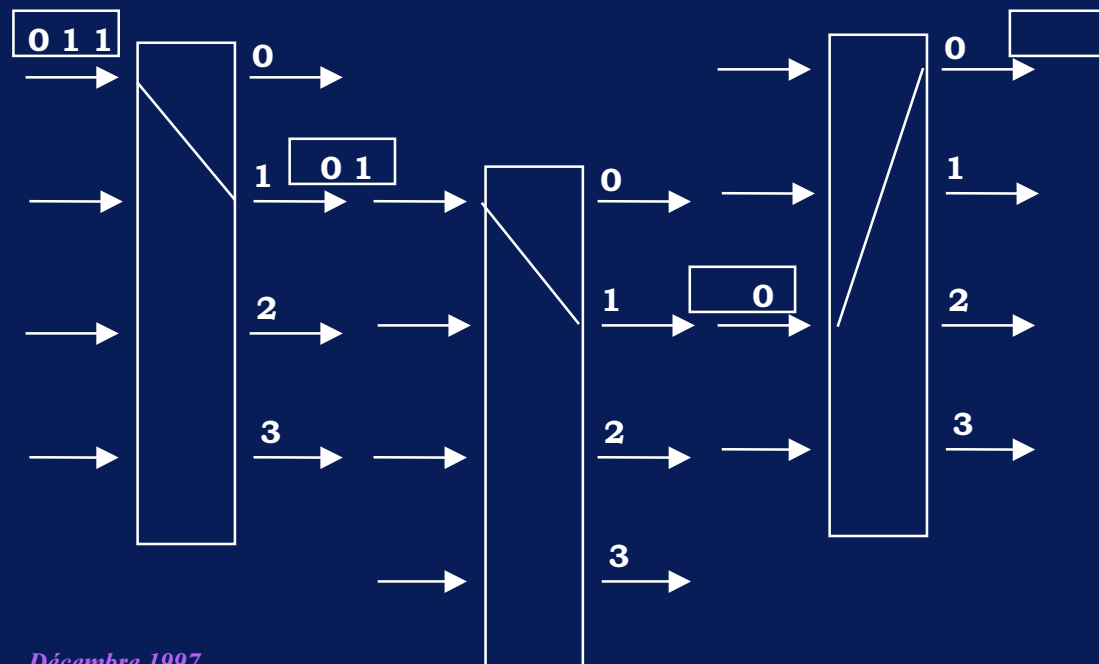
- Le paquet doit être retransmis dans son ensemble
 - si taux de perte important, le nouveau paquet peut à nouveau être une victime.
- Le réseau doit être à faible taux d'erreur et de perte de cellules
 - taux d'erreur de la fibre optique : 10^{-12}
- Utilisation de codes correcteurs d'erreurs simples (CRC) qui ont un coût: 10 bits pour ATM (2,5%).

Réseau de cellules

Routage

◆ Routage par la source

- L'ensemble de l'information de routage est ajouté en tête de chaque cellule.
- Problème : limitation du nombre de noeud pour que l'en-tête ne devienne pas trop grande.

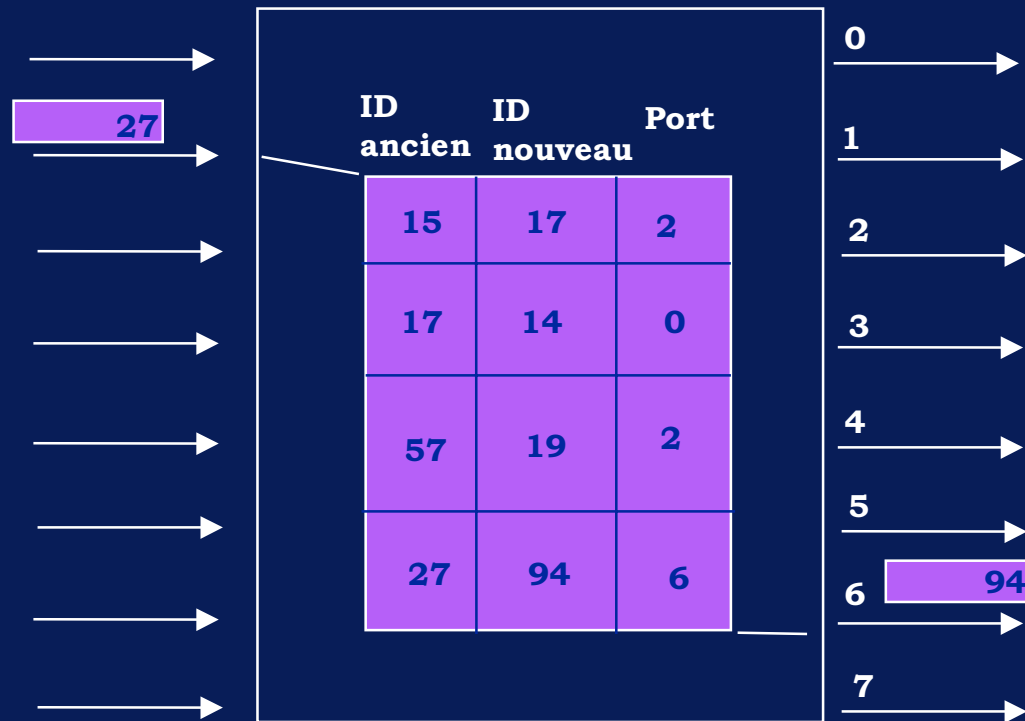


Réseau de cellules

Routage

◆ Routage de proche en proche

- En-tête de taille fixe qui contient un identificateur de saut
- Le commutateur doit gérer une table





Principes d'ATM

- ◆ **Liaisons physiques point à point et structure en étoile**
 - noeud du réseau : commutateur-switch-brasseur
- ◆ **Flots de données ---> paquets de taille fixe**
 - cellules
- ◆ **Mode connecté (chemin virtuel) établi**
 - Dynamiquement
 - Manuellement (permanent ou semi-permanent)



Principes d'ATM

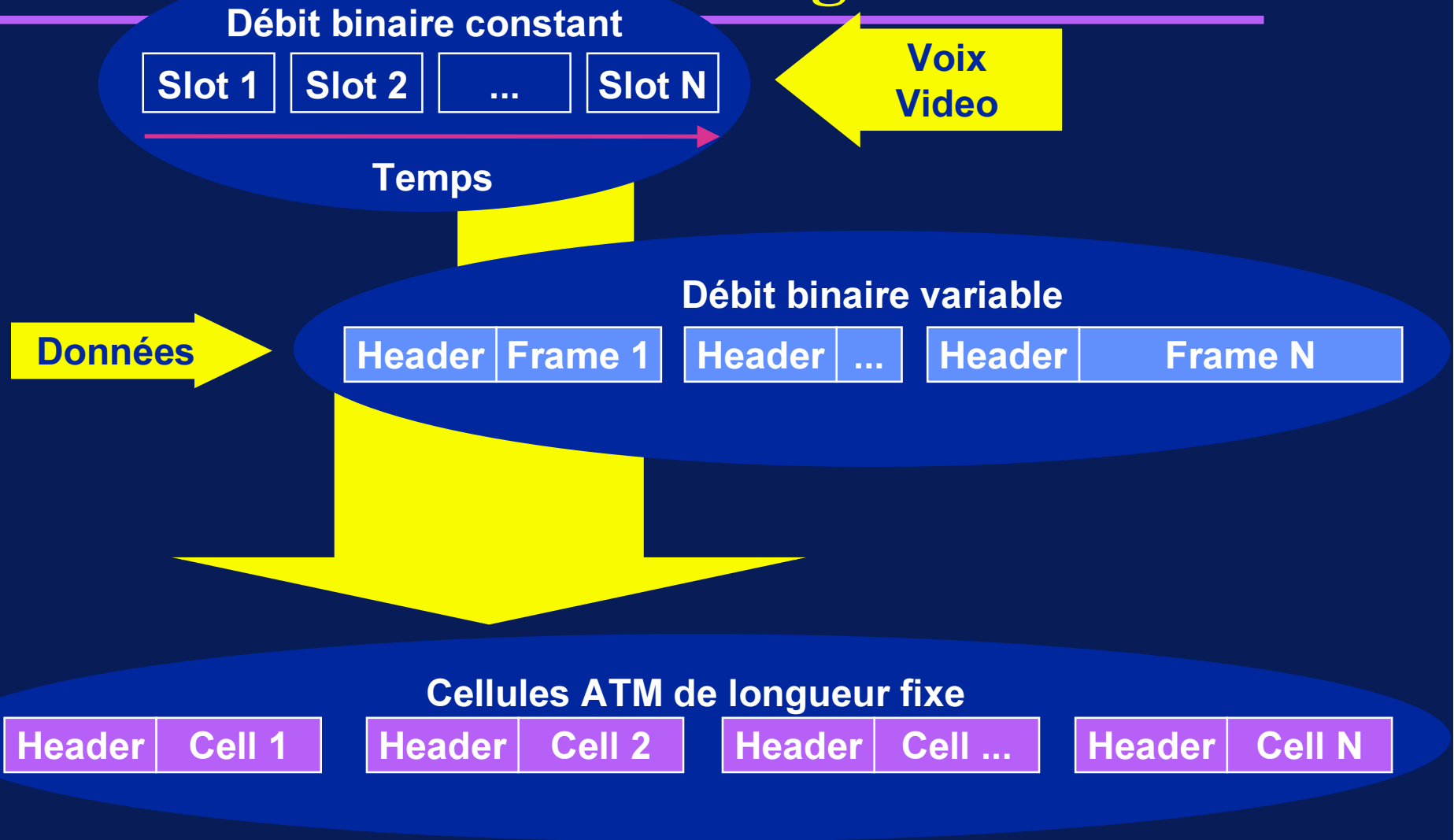
- ◆ Lors d'une connexion les données suivent toujours le même chemin.
- ◆ Chaque connexion : qualité de service (QoS)
- ◆ 2 couches principales (équivalent OSI 2-3)
 - ATM
 - AAL (ATM Adaptation Layer)



UREC

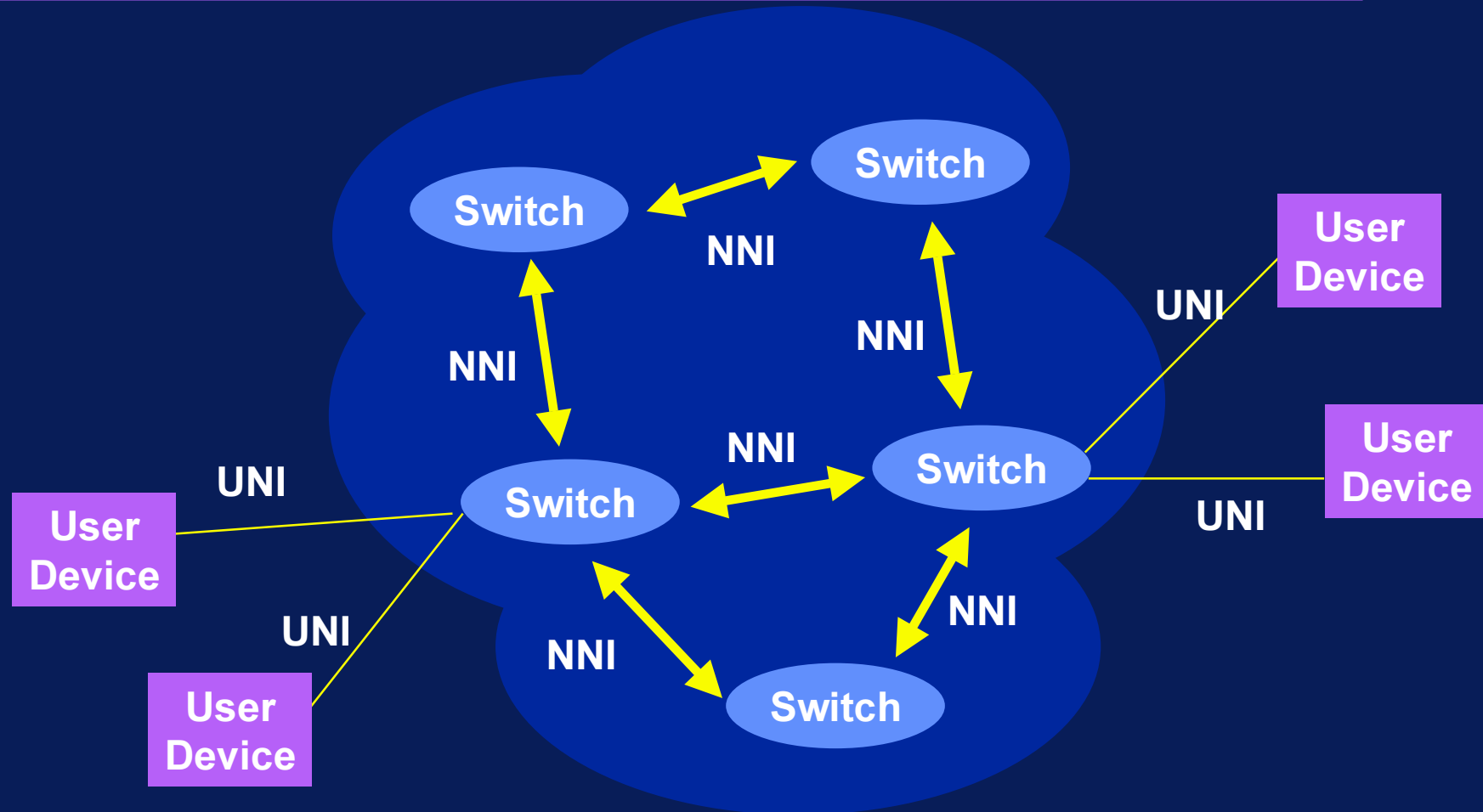
Principes d'ATM

Intégration des trafics



Principes d'ATM

Structure du réseau



UNI : User Network Interface
NNI : Network Node Interface

Modèle ATM

◆ Trois niveaux

- Physique

- » adaptation à l'environnement de transmission.

- ATM

- » acheminement des informations par multiplexage et commutation des cellules.

- ~~AAL~~ : ATM Adaptation Layer

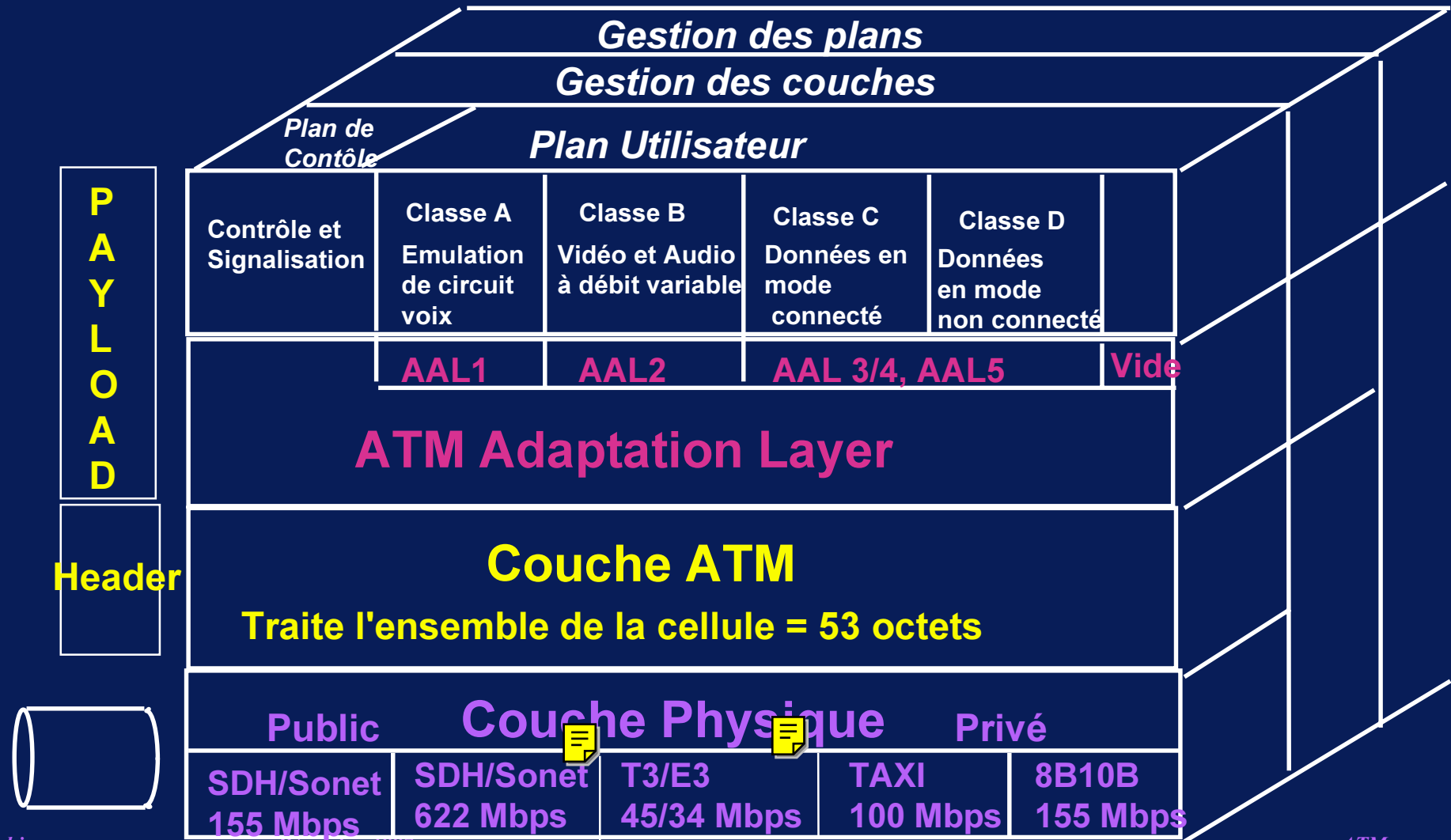
- » adaptation des flux d'informations à la structure des cellules.

- » une AAL par type de trafic



UREC

Modèle ATM





Couche physique

- ◆ **Assure le transport de cellules entre deux équipements ATM**
- ◆ **Deux sous-couches**
 - **PM Physical Media**
 - » **transmission des bits en fonction du support physique (en particulier transformation électrique-optique)**
 - **TC Transmission Convergence**
 - » **Génération du HEC (Header Error Check) en émission**
 - » **Contrôle du HEC, des en-têtes en réception (Destruction si erreur non récupérable)**
 - » **Insertion de "cellules vides" quand il n'y a pas de trafic de la couche ATM**



Couche Physique interfaces

◆ Deux méthodes :

- Flot de cellules ATM transmis sur le lien physique.
 - » origine ATM Forum
- Les cellules ATM sont transportées dans une trame SDH/SONET
 - » SDH : Hierarchie numérique synchrone G709
 - ◆ développée pour supporter le multiplexage de liaisons avec des débits binaires de plusieurs centaines de mégabits.
 - ◆ son but est de fournir un ensemble unique de standards de multiplexage pour les liaisons à hauts débits.
 - ◆ construit en bloc de 155.52 Mbps
 - ◆ nommage: STM-n
 - STM : Synchronous Transfer Module
 - » SONET : Synchronous Optical NETwork
 - ◆ équivalent américain de SDH.
 - ◆ construit en bloc de 51.84 Mbps
 - ◆ nommage: STS-n et OC-n
 - STS : Synchronous Transport Signal
 - OC : Optical Carrier



Couche physique interfaces

◆ Interfaces ATM Forum

- DS3 44.736 Mbps
 - » réseau public sur des liens T3
- TAXI (4B5B FO) 100 Mbps dérivée de FDDI
 - » fibre optique multimode
- 8B10B FO 155 Mbps dérivée de FiberChannel
 - » fibre optique multimode

◆ ITU (CCITT), SONET sur fibre optique

Débits (Mbps)	Appellation SONET STS/OC	Appellation ITU STM
51,84	1	
155,52	3	1
622,08	12	4
1244,16	24	8
2488,32	48	16



Couche physique interface

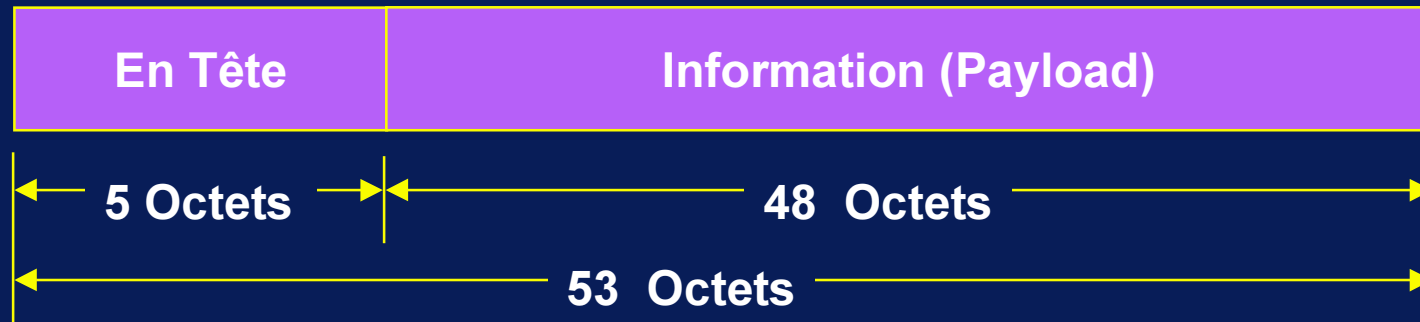
◆ Autres interfaces

- 155 Mbps UTP-5
- 52 Mbps UTP-3
- 1.5 Mbps (T1)
- 2 Mbps (E1)
- 25 Mbps (débit proposé par IBM)



Couche ATM

la cellule

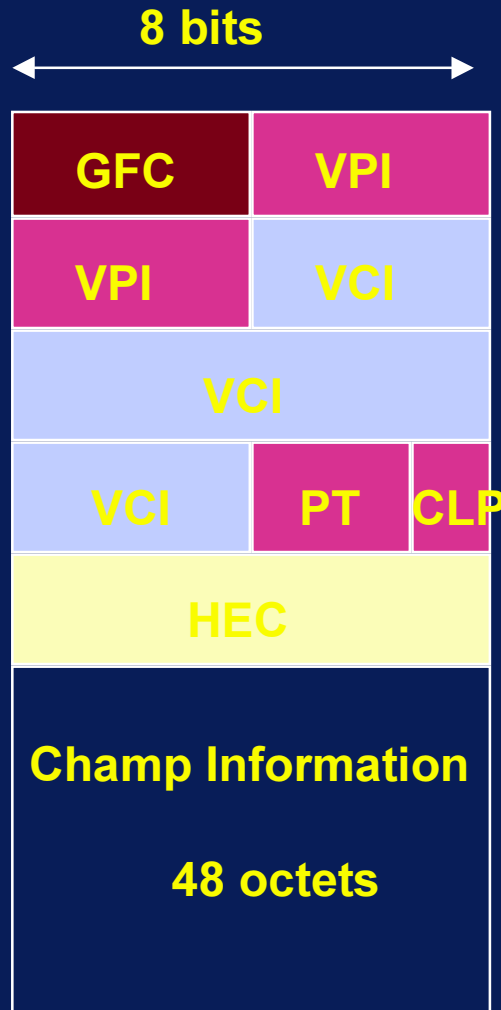


- ◆ **Ni détection, ni récupération d'erreur**
- ◆ **La taille est un compromis**
 - petite => faible temps de propagation
 - grande => faible surcharge dans le réseau
- ◆ **Longueur fixe**
 - facilite les implémentations hardware
 - facilite l'allocation de bande passante



Couche ATM

structure de la cellule



GFC	Generic Flow Control
VPI	Virtual Path Identifier (8 bits : 256)
VCI	Virtual Channel Identifier (16 bits : 64000)
PT	Payload Type information utilisateur ou réseau état de congestion message d'adm ou d'info début-fin de message pour AAL5
CLP	Cell Loss Priority "priorité" à la destruction si 1
HEC	Header Error Check sur l'en-tête de la cellule



Fait partie du champ VPI si interface NNI

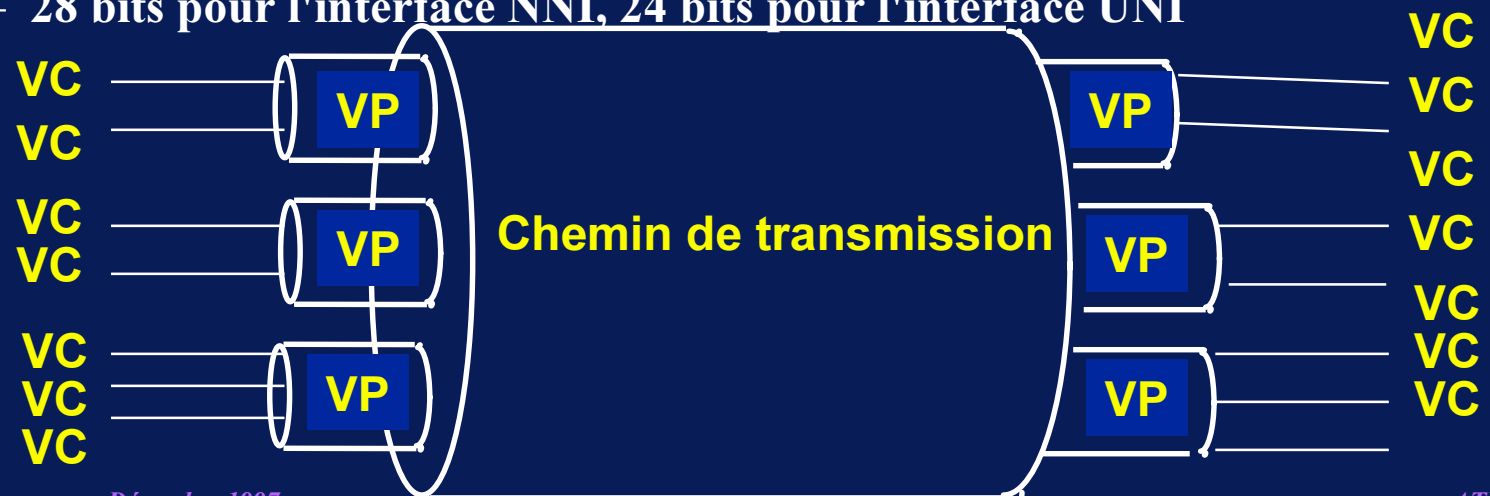


Couche ATM

- ◆ **Indépendante de l'interface physique.**
- ◆ **ATM est un service orienté connexion.**
 - un chemin est établi avant de transmettre des données utilisateurs.
- ◆ **Fonctions :**
 - Génération des en-têtes des cellules.
 - Multiplexage et démultiplexage des cellules.
 - Aiguillage basé sur les champs VPI, VCI des cellules.
 - Supervision :
 - » s'assure que les débits sont dans les limites négociées lors de l'établissement de la connexion.
 - » met en oeuvre les actions correctives pour garantir la qualité de service.

VP et VC

- ◆ Sur les liens entre deux équipements.
- ◆ Le chemin de transmission de la couche physique peut-être décomposé au niveau ATM :
 - en *Chemins Virtuels (Virtual Paths)*,
 - eux mêmes décomposés en *Canaux Virtuels (Virtual Channels)*
 - » PVC : Permanent Virtual Channel
 - » SVC : Switched Virtual Channel
 - 28 bits pour l'interface NNI, 24 bits pour l'interface UNI





VP et VC

Vocabulaire ATM / X25

◆ VC (ATM) : Virtual Channel : Circuit virtuel

- Peut être permanent PVC ou commuté SVC
- VCI : Numéro de VC

◆ VP (ATM) : Virtual Path :

- Peut être permanent ou commuté
- VPI : Numéro de VP

◆ 1 VP (ATM) contient n VC (ATM)

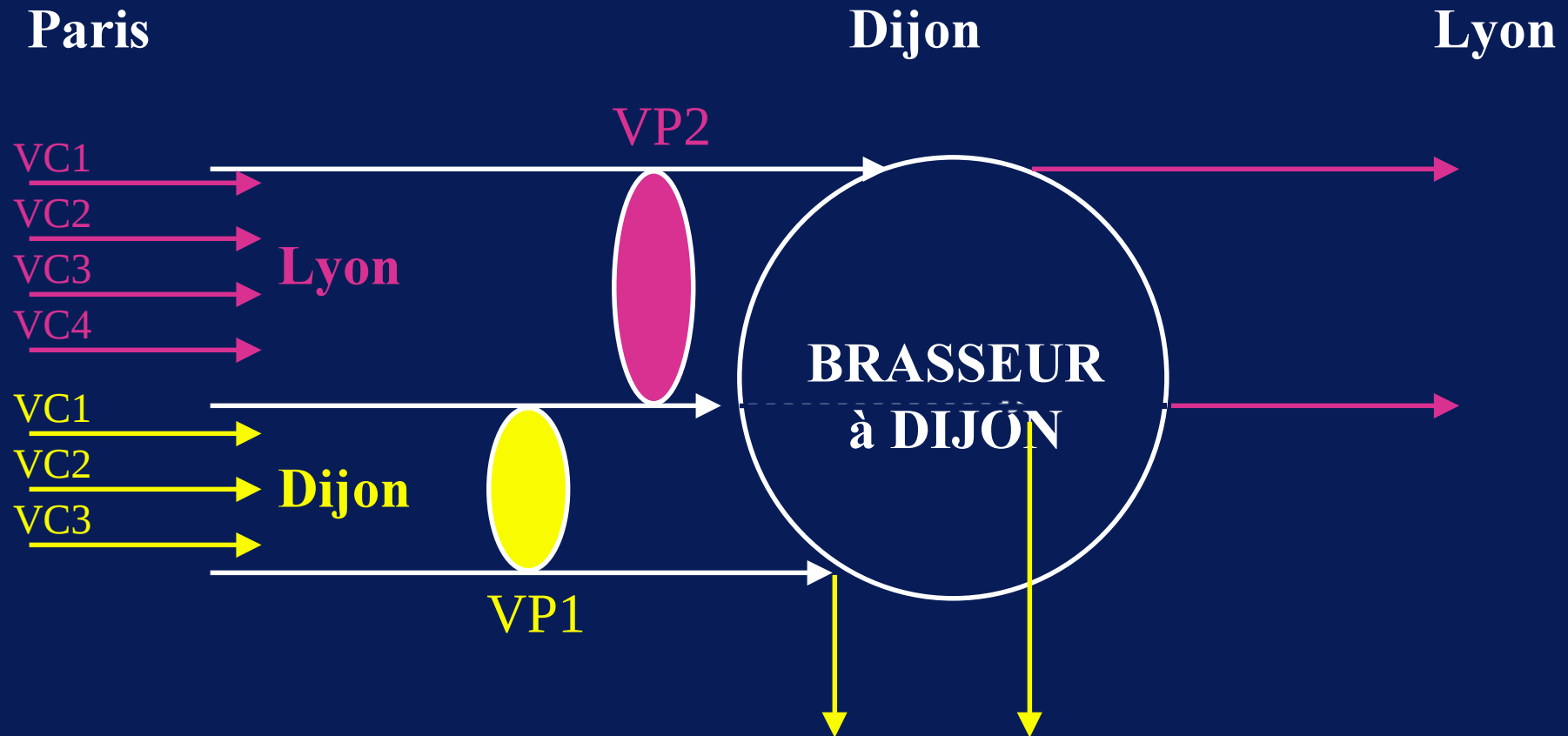
◆ VP (X25) : circuit virtuel permanent

◆ Commutateur ATM

- VP uniquement : brasseur
- VC et VP : commutateur

VP et VC :

Pourquoi ces 2 niveaux ?





Routage des cellules ATM

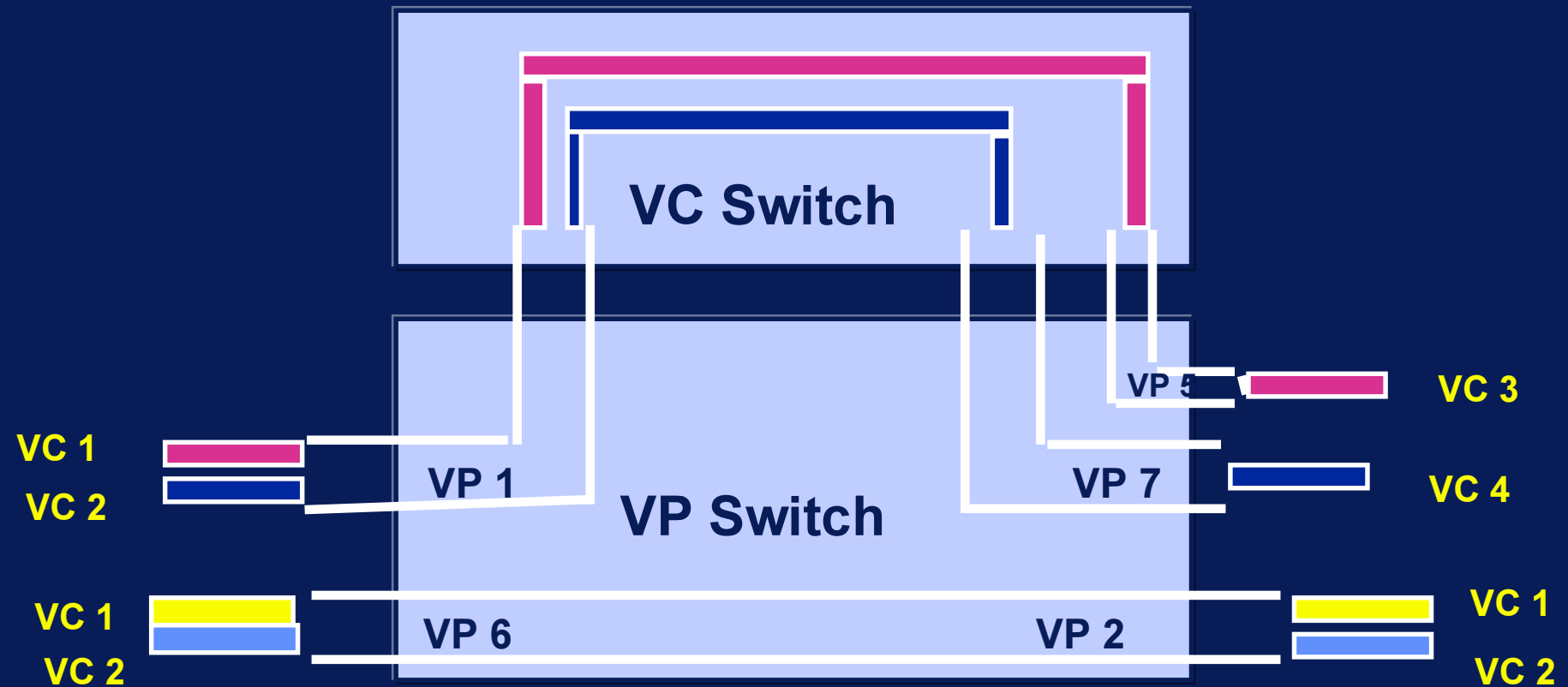
- ◆ **Routage de proche en proche**
- ◆ **Hierarchie à deux niveaux**
 - VP : router un ensemble de cellules correspondant à plusieurs connexions.
 - VC : routage des cellules d'une connexion.
- ◆ **Chemin de routage défini au moment de la connexion**
- ◆ **L'information de routage est locale au commutateur**
- ◆ **Tables du commutateur : consultation et modification de la cellule**



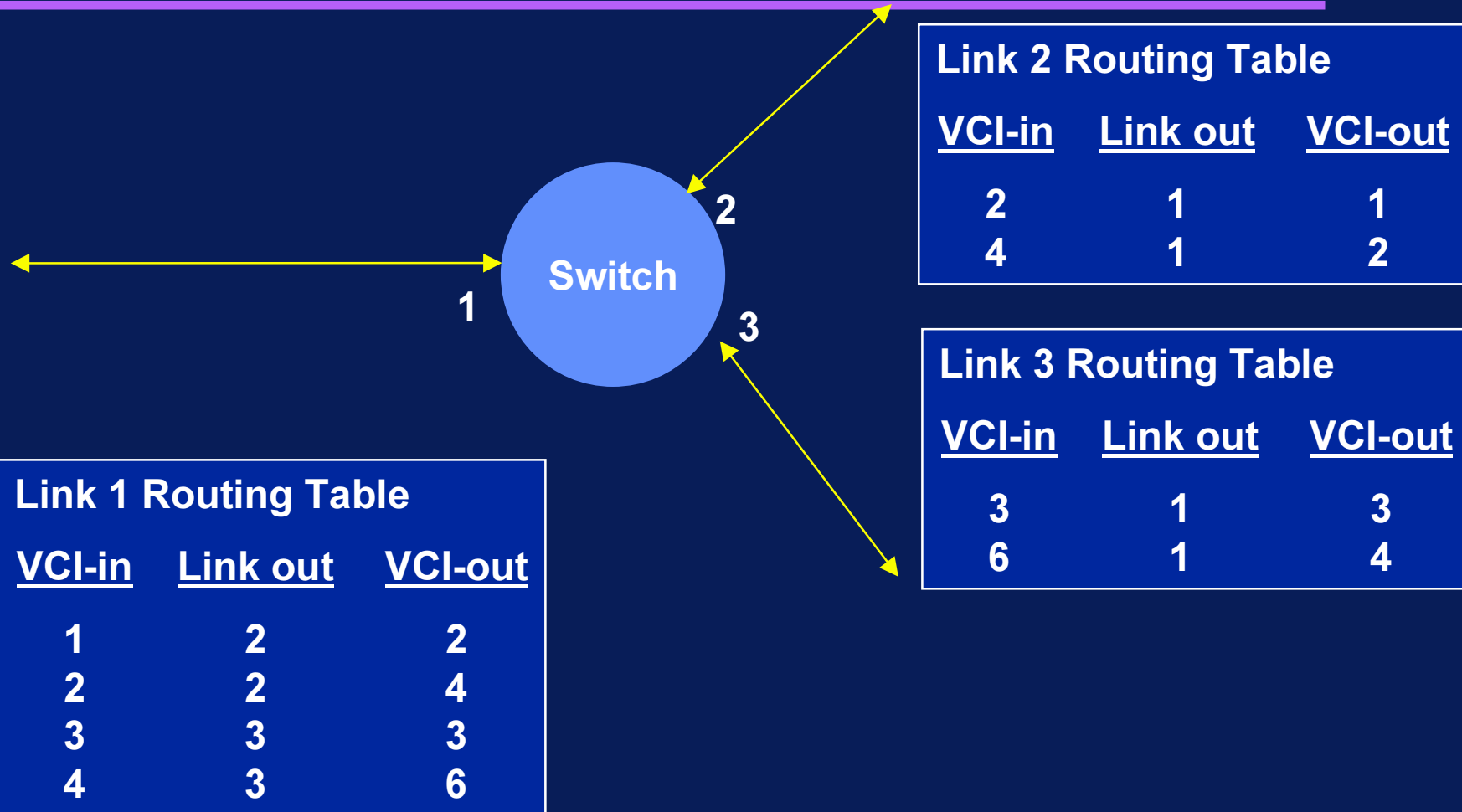
UREC

Routage des cellules ATM

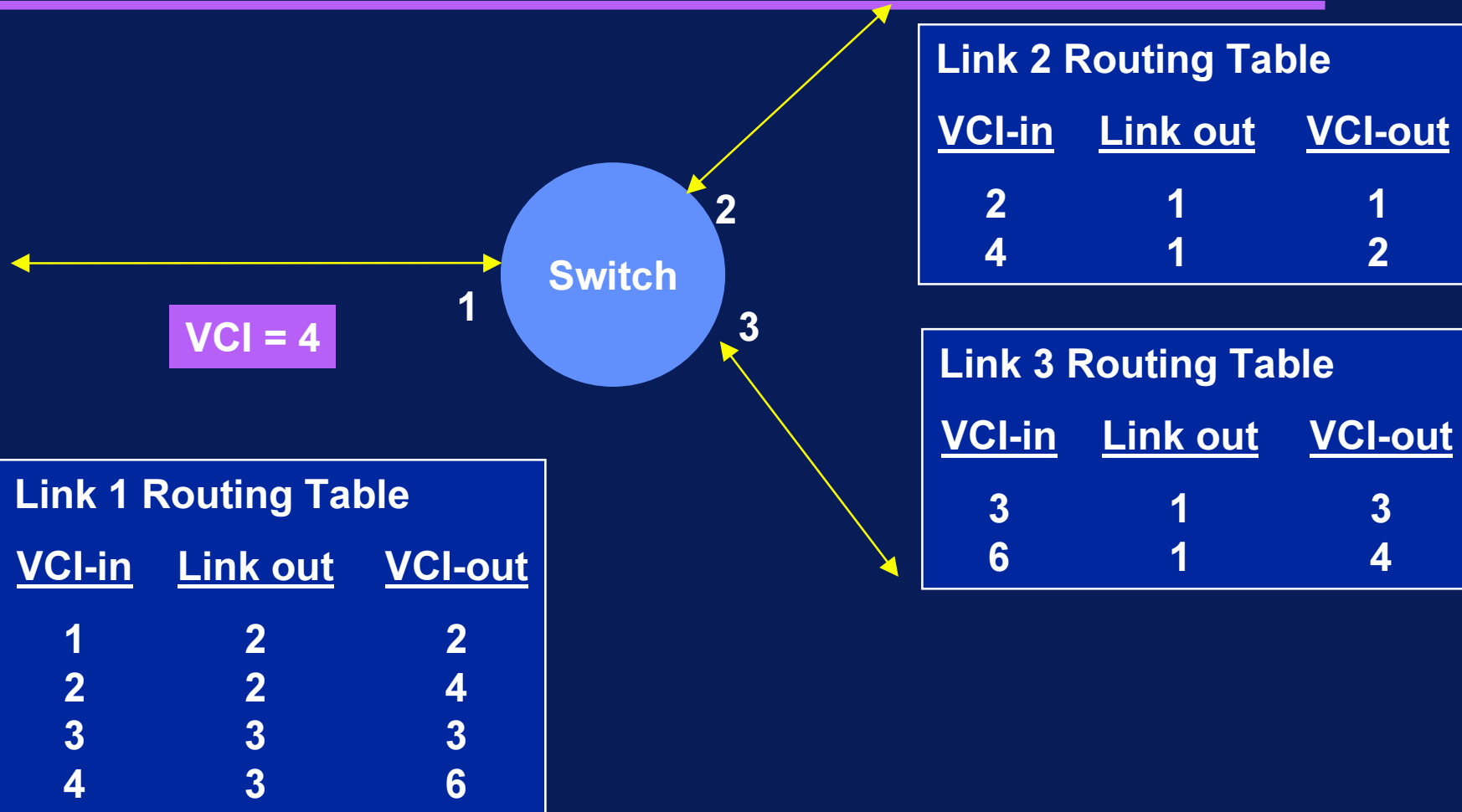
Commutateur de VP et de VC



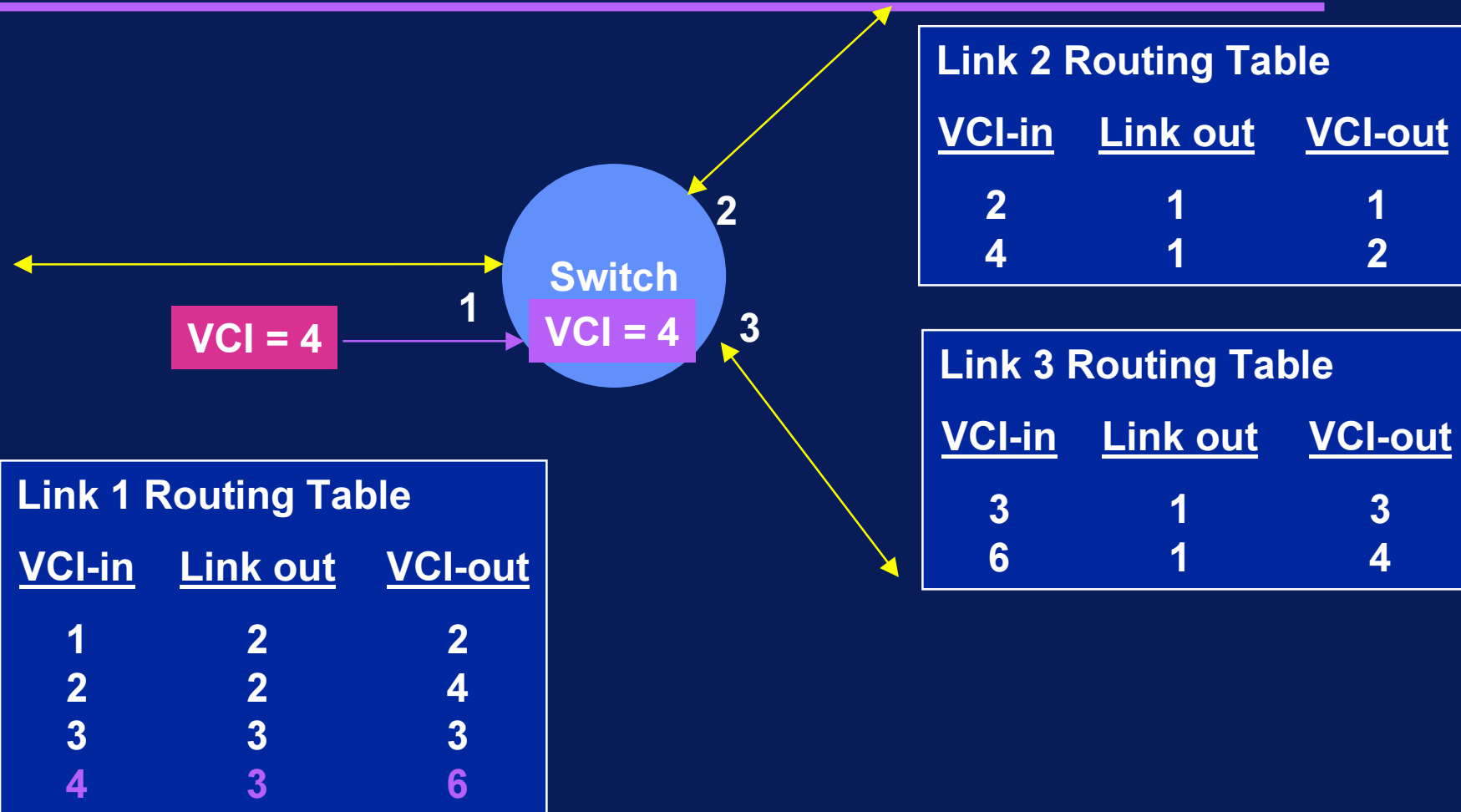
Routage des cellules ATM



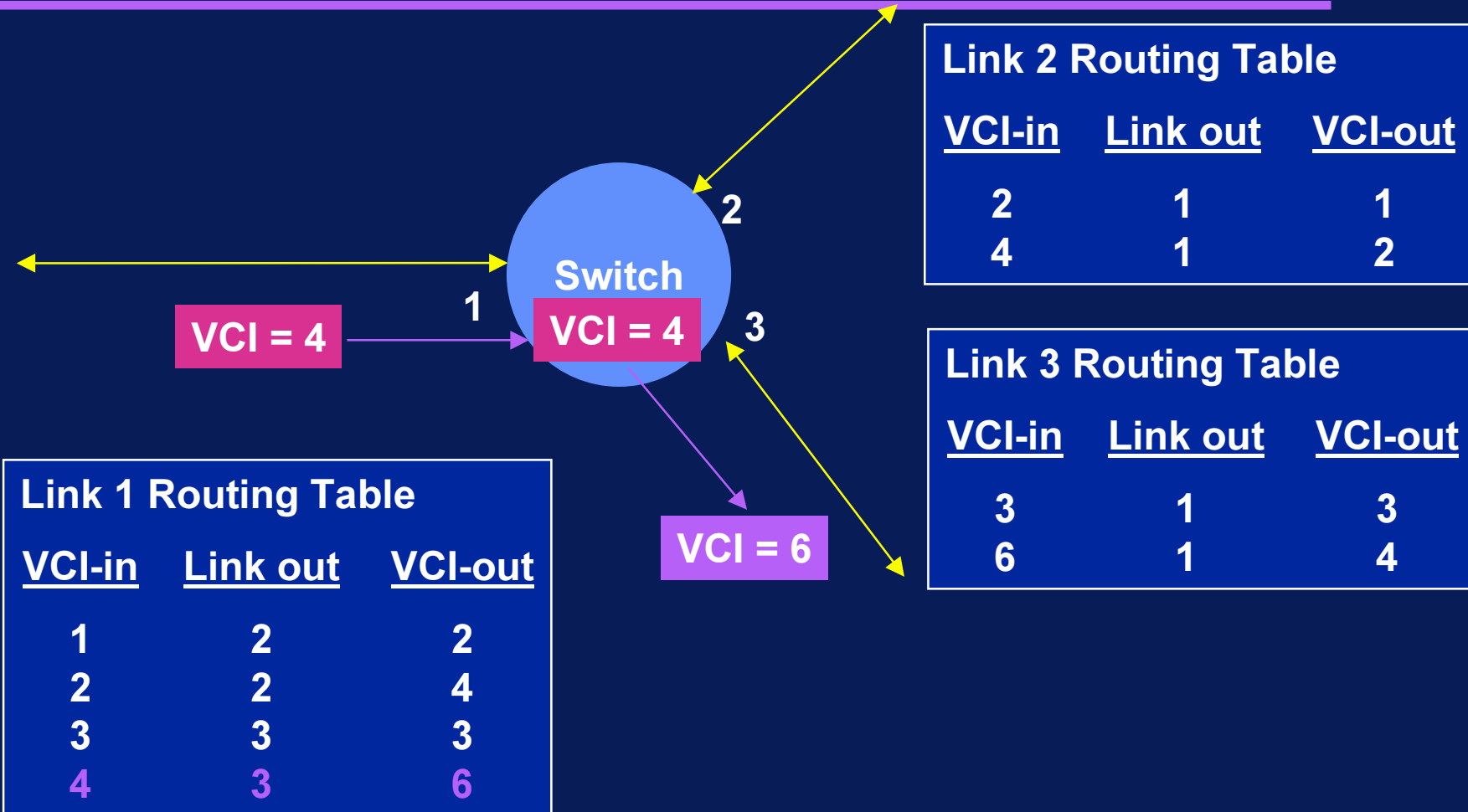
Routage des cellules ATM



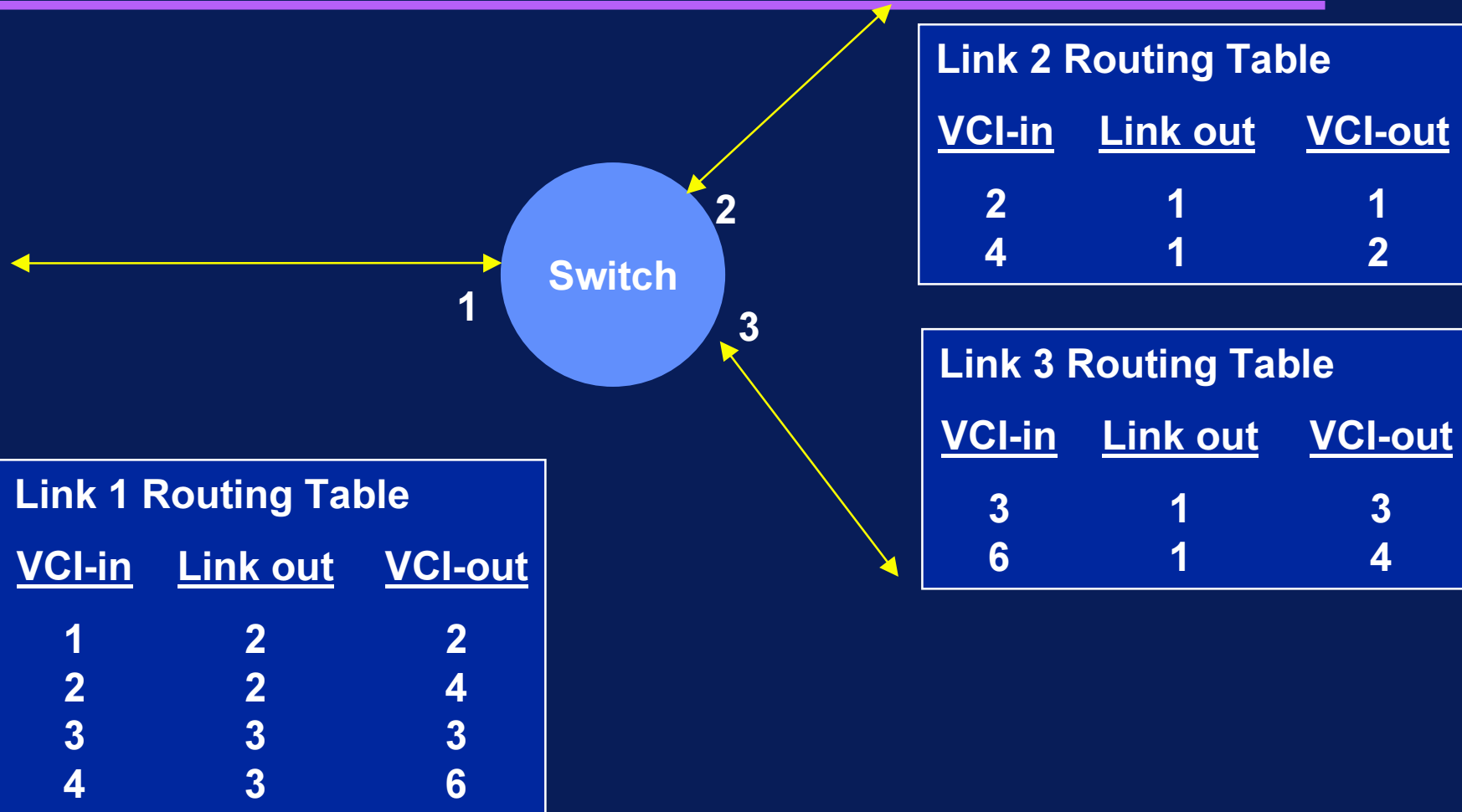
Routage des cellules ATM



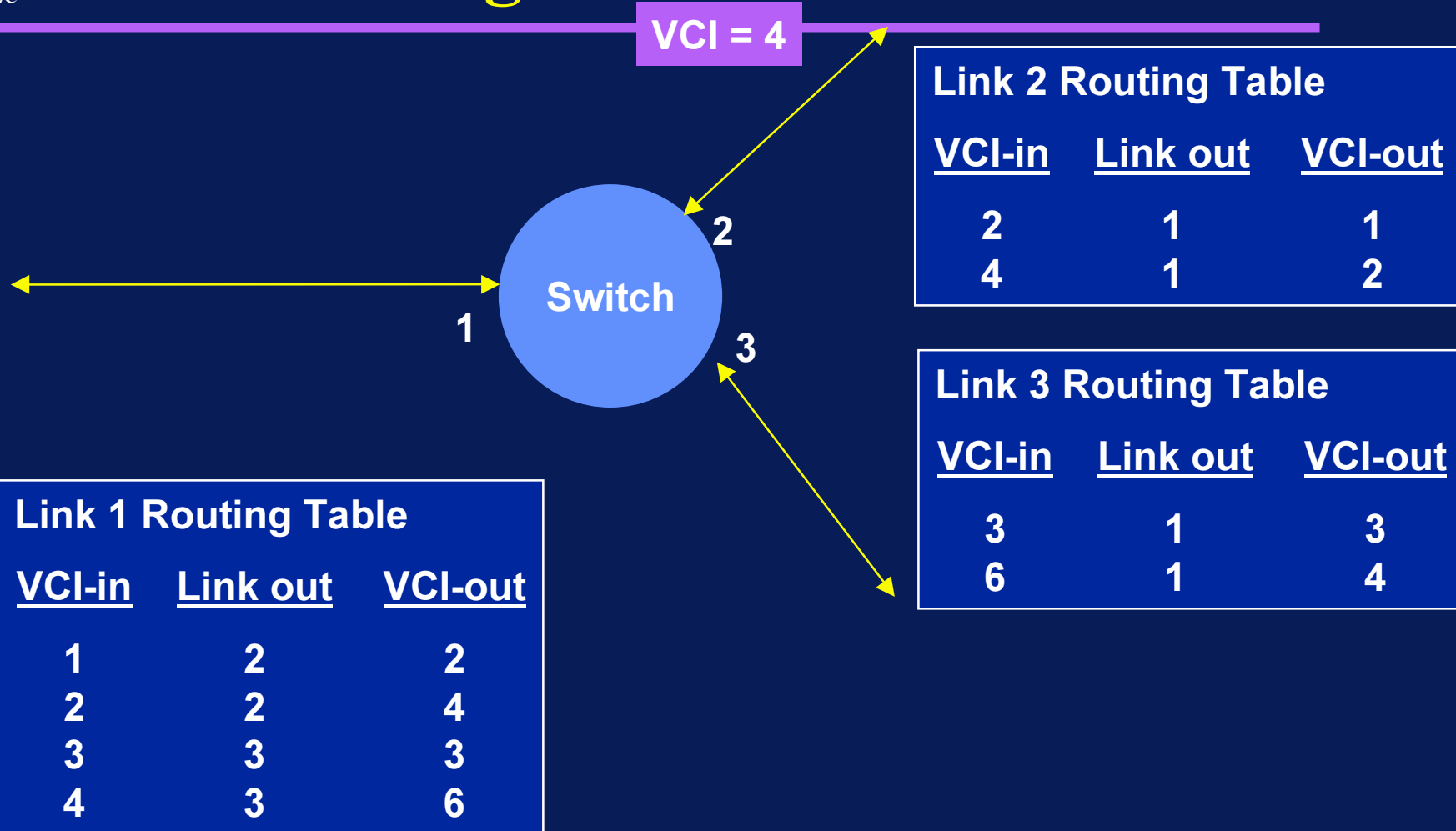
Routage des cellules ATM



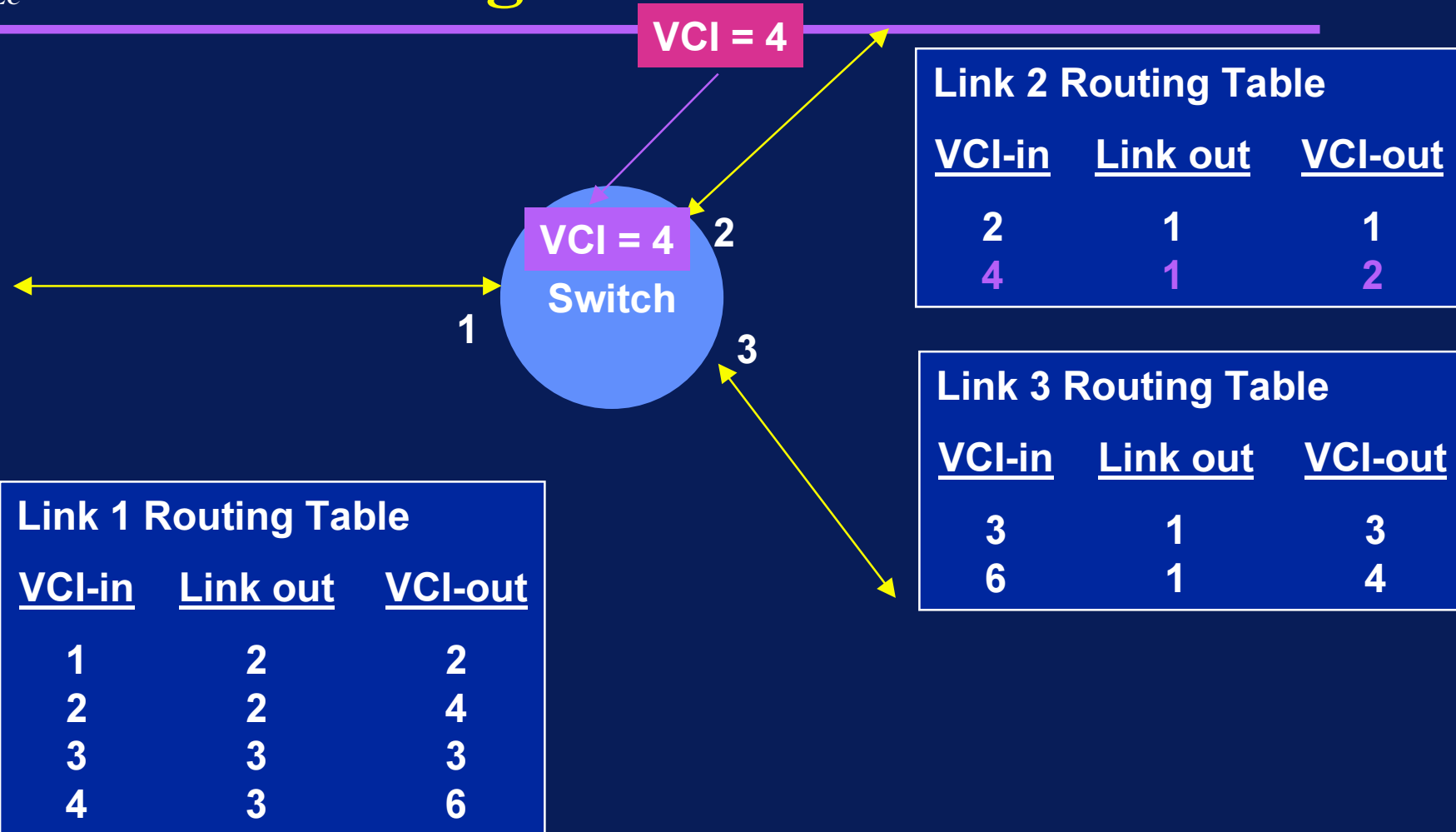
Routage des cellules ATM



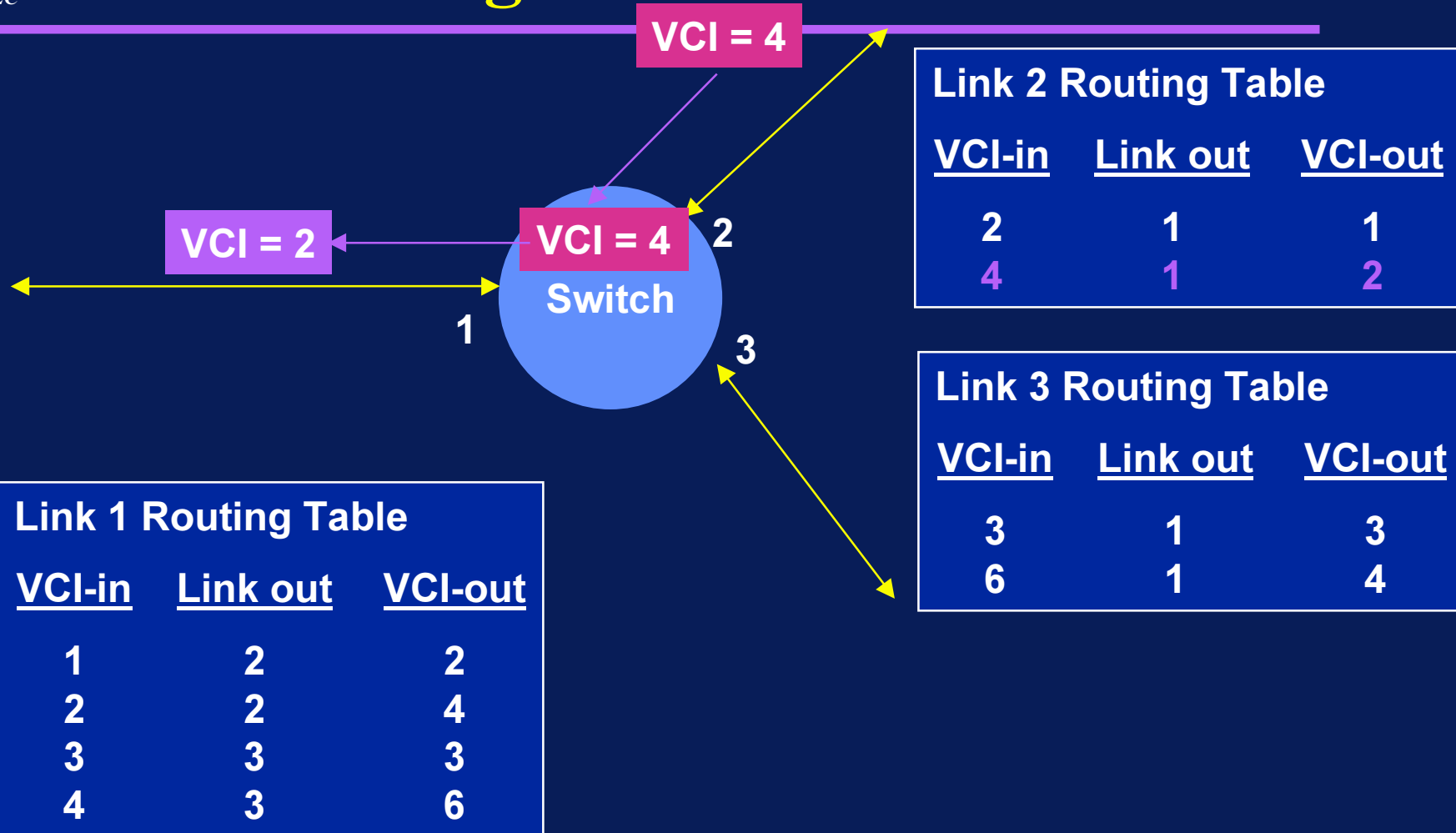
Routage des cellules ATM



Routage des cellules ATM



Routage des cellules ATM





roulage des cellules

exemple de tables

Table de routage port 1

<u>VCI-in</u>	<u>Port- out</u>	<u>VCI-out</u>
2	2	2
3	3	6

Table de routage port 2

<u>VCI-in</u>	<u>Port- out</u>	<u>VCI-out</u>
2	1	2
4	3	8

Table de routage port 3

<u>VCI-in</u>	<u>Port- out</u>	<u>VCI-out</u>
6	1	3
8	2	4

Commutateur

port 1

port 3

port 2

Station A

Station B

Station C

Table de routage

<u>Station</u>	<u>VCI</u>
B	2
C	3

Table de routage

<u>Station</u>	<u>VCI</u>
A	2
C	4

Table de routage

<u>Station</u>	<u>VCI</u>
A	6
B	8



routage des cellules ATM

mise à jour des tables de routage

- ◆ **Manuelle : PVC (circuits permanents)**
- ◆ **Dynamique : SVC (circuits commutés)**
 - On se met d'accord sur un VC pour "l'administration" : VC5
 - Station A ---> commutateur (VC5) : "Je veux causer avec C"
 - Commutateur---> C (VC5) : " A veut causer avec toi, OK ?"
 - C ---> Switch (CV5) : "OK"
 - Commutateur ---> A (VC5) : "Station C est d'accord pour la communication avec C, vous causerez sur VC3"
 - Commutateur ---> C (VC5) : "Vous causerez avec A sur VC6"
 - Commutateur et stations mettent à jour leur table de routage
- ◆ **Dynamique ----> Signalisation UNI V3.0**



Couche AAL

◆ Interface avec les couches applicatives.

- Offre des fonctions additionnelles afin de rendre plus facile l'utilisation des services du réseau de cellules par les applications.

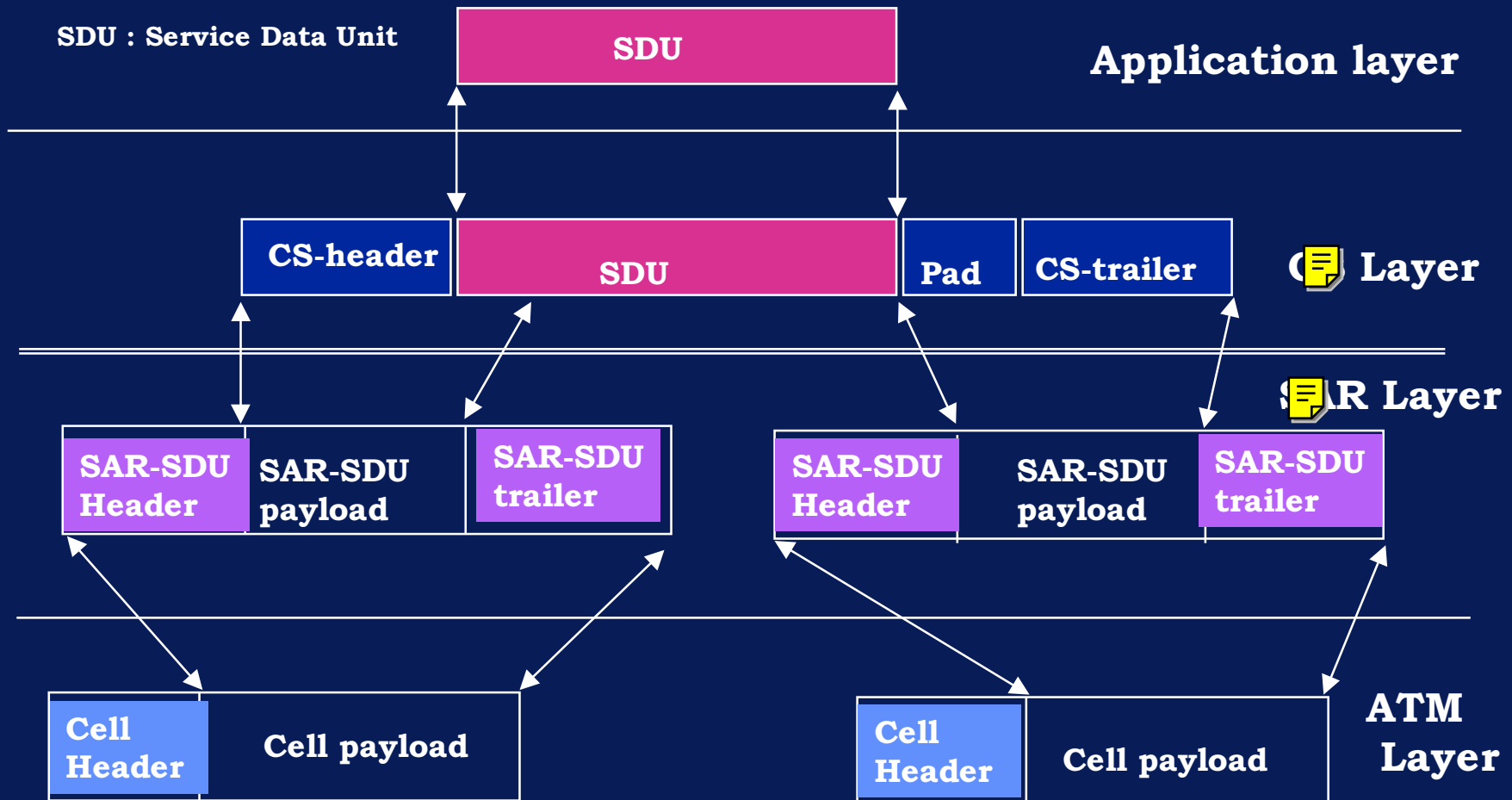
◆ Fonctions :

- Segmentation et réassemblage (SAR)
 - » Découpage des données en blocs de 48 octets et le réassemblage
- CS (Convergence Sublayer)
 - » Dépendant du service requis (application)
- Resynchronisation et filtrage de la gigue de cellule
 - » Important pour la Voix et la Video
- Détection des erreurs (mais pas correction), élimination des cellules dupliquées (Données)



UREC

Couche AAL



Segmentation et réassemblage pour les services VBR



AAL type 1, AAL type 2

◆ AAL1, service de classe A

- services en mode connecté,
- synchronisation entre la source et la destination,
- débit constant (CBR Constant Bit Rate)
 - » voix

◆ AAL2, service de classe B

- services en mode connecté,
- un débit non constant,
- synchronisation entre la source et la destination
 - » vidéo



AAL type 3/4

◆ AAL 3/4 (CCITT I.363)

- transport de données en mode :
 - » connecté (service de classe C).
 - » non connecté (service de classe D).
- Service VBR (Variable Bit Rate).
- Pas de synchronisation entre la source et la destination.
- Réservé aux trafics qui ne tolèrent pas de perte de cellules.
- Multiplexage des cellules possibles.
- 44 octets de données utiles par cellules.
- 4 octets sont réservés à un mécanisme de détection d'erreur sophistiqué.
- L'utilisation de cette AAL sera limitée
 - » IEEE 802.6 : DQDB
 - » SMDS
 - ◆ Switched MultimégabitData Service (CBDS en Europe).



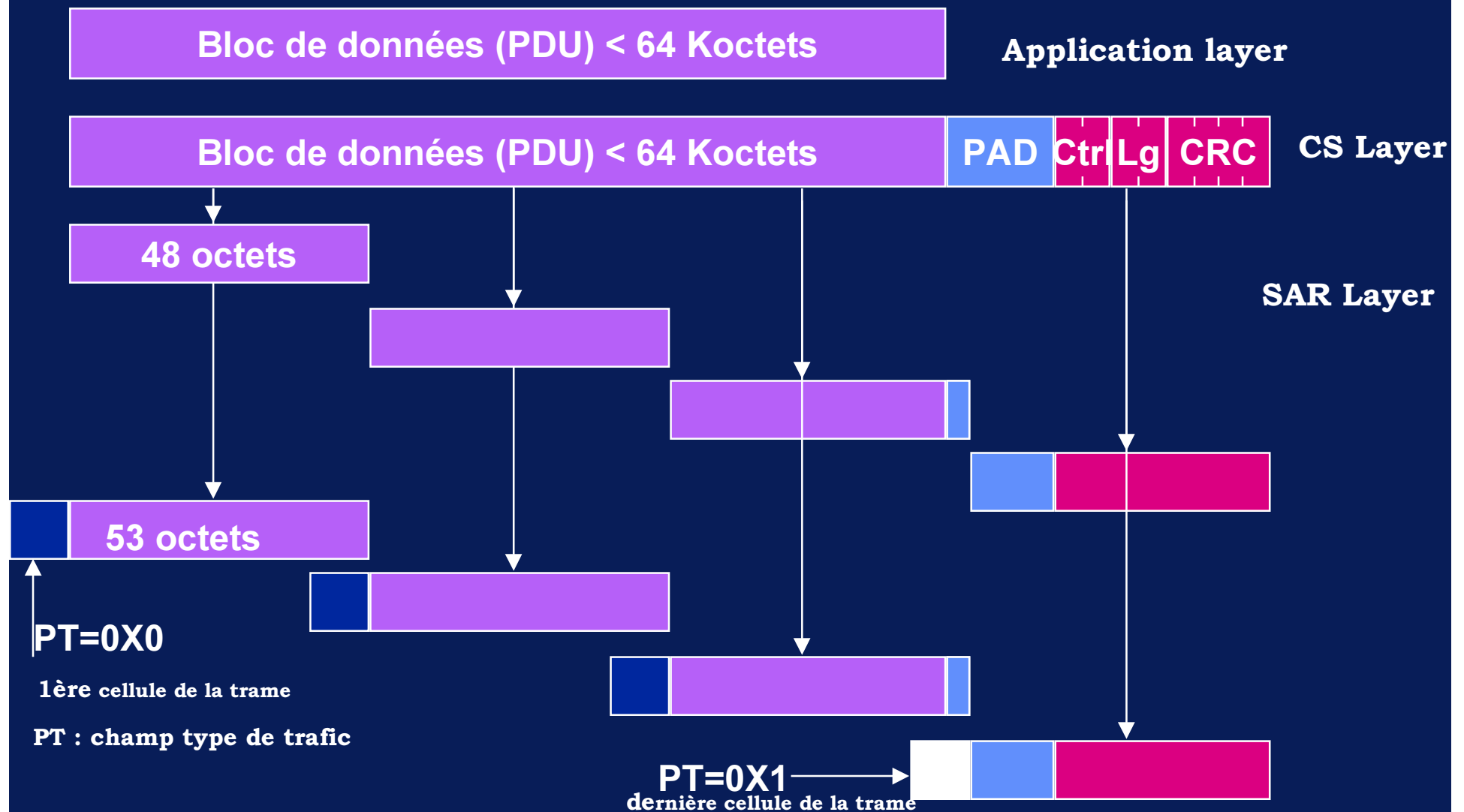
ALL type 5

- ◆ **AAL5 : service de classe D (mode non connecté)**
 - développé par l'industrie de l'informatique.
 - services privilégiés :
 - » UBR Unspecified Bit Rate
 - » ABR Available Bit Rate (UNI 4.0)
- ◆ **AAL3/4 simplifiée.**
- ◆ **SEAL : Simple and Efficient Adaptation Layer.**
 - Moins d'en-têtes et de temps de traitement.
 - Minimiser le temps de traitement par les ordinateurs.
 - Définir une interface AAL aussi proche que possible des interfaces de transmission.
 - Pas de multiplexage des cellules.



La couche AAL 5

UREC





Services et couches AAL

- ◆ Téléphone ---> AAL1
- ◆ Transferts de données IP
 - AAL5
 - CBDS/SMDS ou Frame Relay ---> AAL 3/4
- ◆ Video ---> AAL5 ou AAL1



Commutateurs ATM

Principes généraux

◆ Généralités

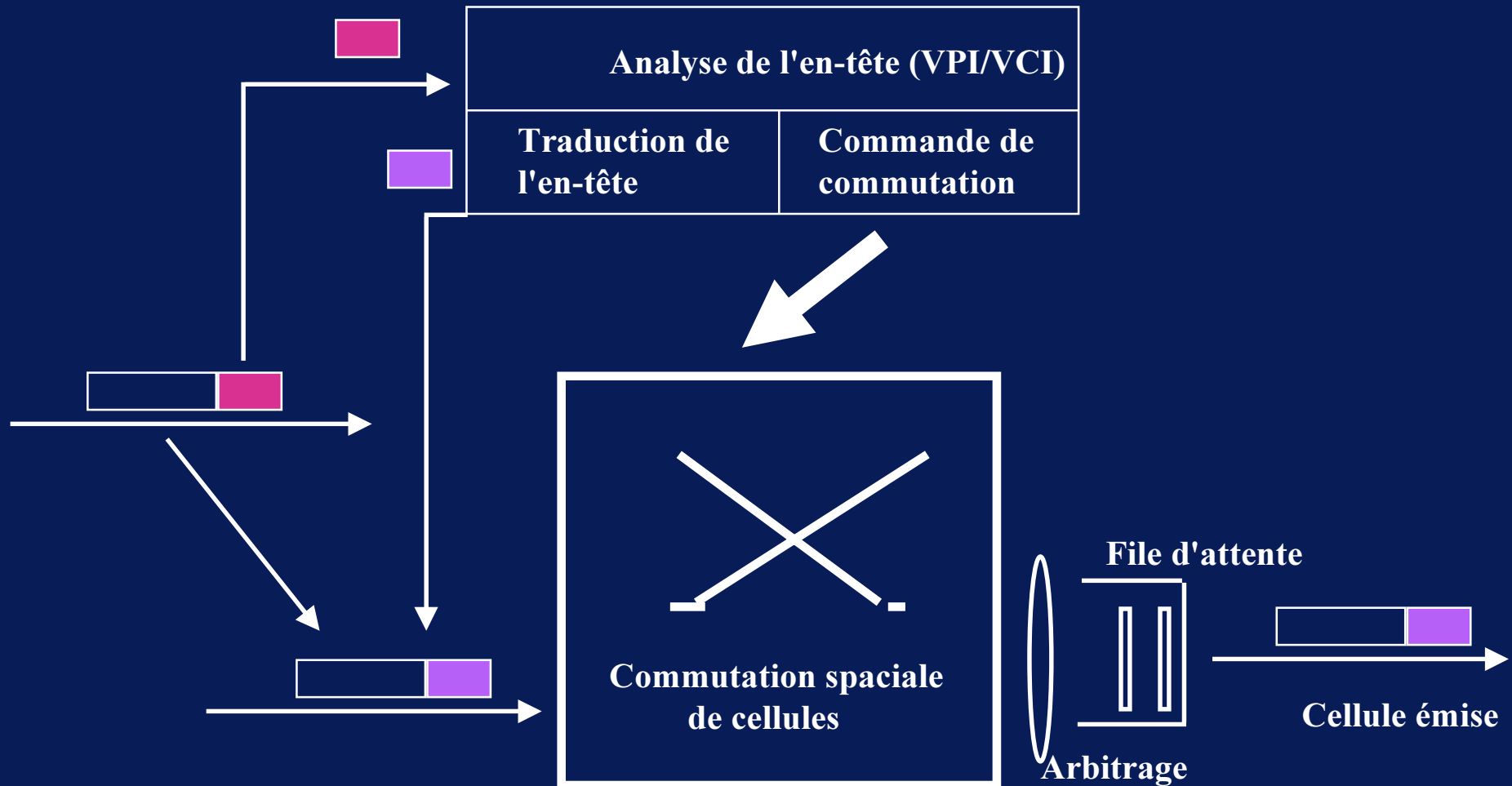
- caractéristiques
- files d'attente

◆ Exemples

- Commutateurs TDM
- Commutateurs Crossbar
- Commutateurs Batch Banyan

Commutateur ATM

Fonctions



Le travail du commutateur est de router les cellules sur les liaisons



Commutateur ATM

Caractéristiques

- ◆ **Traitement de tous les services ATM caractérisés par :**
 - **débit binaire**
 - » **n Kbps : télécontrôle**
 - » **n Mbps, $n > 150$; TVHD, Data**
 - **comportement dans le temps**
 - » **débit constant, variable**
 - **transparence sémantique**
 - » **taux de perte de cellules**
 - » **taux d'erreurs binaires**
 - **transparence temporelle**
 - » **délai**
 - » **dérive sur le délai**
- ◆ **Duplication sur n voies**
 - **information d'une source vers N destinations**
 - **ex : messagerie, vidéobibliothèque ..**



Commutateur ATM

Caractéristiques : Performances

◆ Capacité, taux d'erreur binaire

- technologie et dimensionnement du système
 - » CMOS, ECL

◆ Blocage des connexions

- blocage : probabilité de trouver une quantité de ressources insuffisante entre l'entrée et la sortie du commutateur
 - » 2 cellules ou plus sont en compétition pour accéder à une même ressource
 - » la qualité des connexions existantes et de la nouvelle n'est plus garantie.
- commutateurs sans connexion interne = non bloquant
 - » si les ressources à l'entrée et à la sortie du commutateur sont suffisantes
=> aucun blocage interne.
- commutateurs avec les ressources affectées pour chaque nouvelle connexion = bloquant



Commutateur ATM

Caractéristiques : Performances

- ◆ **Probabilité de perte/insertion de cellules**
 - grand nombre de cellules destinées à une même file de sortie => perte de cellules
 - » valeurs entre 10^{-8} et 10^{-11}
 - mauvais acheminement à l'intérieur du commutateur => cellule sur une mauvaise voie logique.
- ◆ **Le commutateur ne doit pas modifier l'ordre des cellules à l'intérieur d'un VCI.**
- ◆ **Délai de commutation**
 - entre 10 et 100 μ s avec une dérive de 100 μ s ou moins.



Commutateur ATM

Files d'attente

◆ Problème :

- deux cellules arrivent à deux entrées du commutateur et sont dirigées vers la même sortie pendant le même temps cellule

◆ Solutions

- Mise en file d'attente d'entrée
 - » chaque entrée possède une mémoire tampon
=> une logique d'arbitrage décide que la file d'attente peut être desservie
 - ◆ arbitrage simple : tour de rôle
 - complexe : prise en compte du remplissage de la mémoire tampon.
- Mise en file d'attente de sortie
 - » des cellules peuvent être commutées vers la même sortie, mais une seule cellule ne peut être émise pendant un temps cellule
=> file d'attente de sortie
 - » chaque sortie possède une mémoire tampon
 - » les N entrées peuvent envoyer simultanément des cellules vers une même sortie => pas de perte de cellules si le transfert s'effectue à la vitesse de N x vitesse d'entrée.



Commutateur ATM

Files d'attente

- Mise en file d'attente centrale
 - » les mémoires tampons sont partagées entre la totalité des entrées et des sorties
=> chaque cellule est stockée dans la file d'attente.
 - » chaque sortie sélectionne les cellules qui lui sont destinées selon une règle FIFO
=> mémoire centrale à adressage aléatoire



Commutateur ATM

Files d'attente

◆ Mise en oeuvre

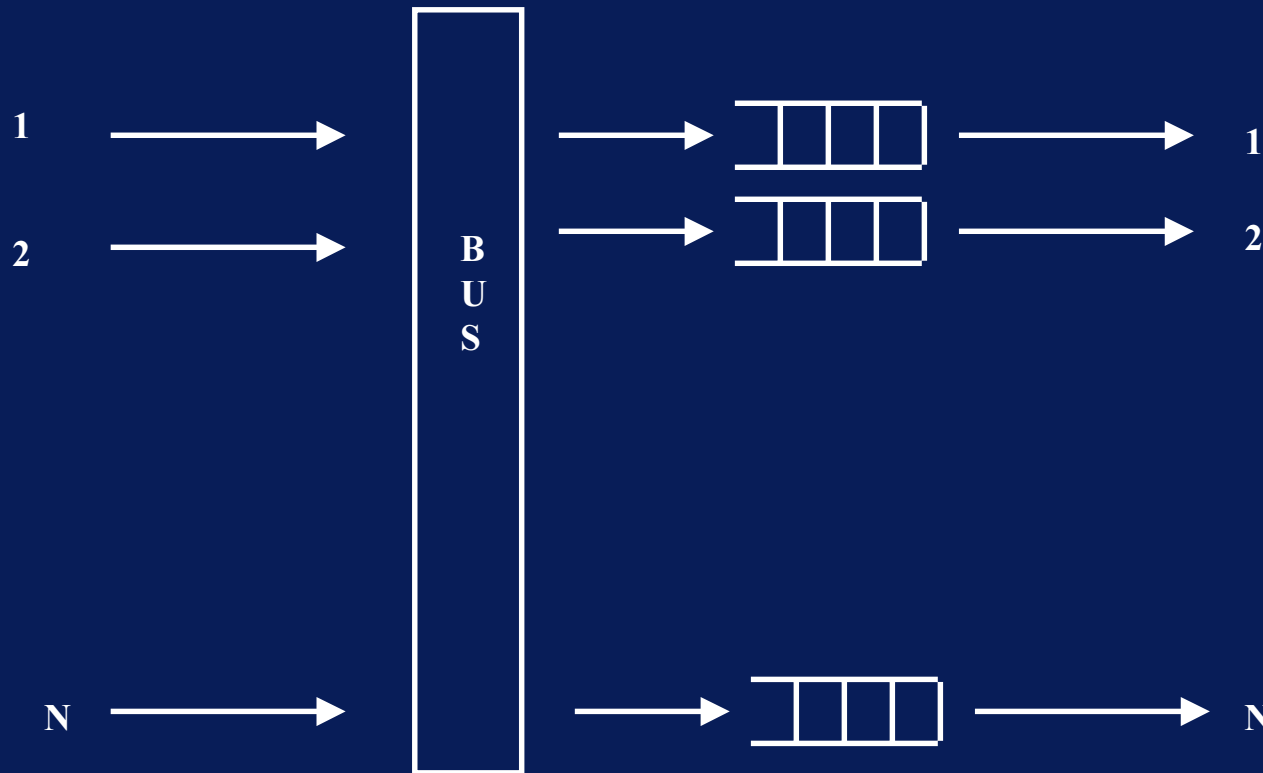
- Trois paramètres ont un impact sur la complexité des différents systèmes de mise en file d'attente :
 - » Taille de la file
 - ◆ dépend des performances requises et du principe retenu.
 - » Vitesse de la mémoire
 - ◆ le temps d'accès dépend du principe retenu, du nombre d'entrées et de la vitesse des liens entrants et sortants.
 - » Contrôle de la mémoire
 - ◆ FIFO : simple
 - ◆ file d'attente centrale : fonction de gestion dynamique.
- Le choix dépend
 - » de la technologie des puces (CMOS, ECL),
 - » de la largeur des matrices de la puce,
 - » de la vitesse de fonctionnement du système (45, 155, 622 Mbps),
 - » de la taille du module de commutation de base (2x2 .. 32x32)



UREC

Commutateur ATM

TDM : Bus partagé

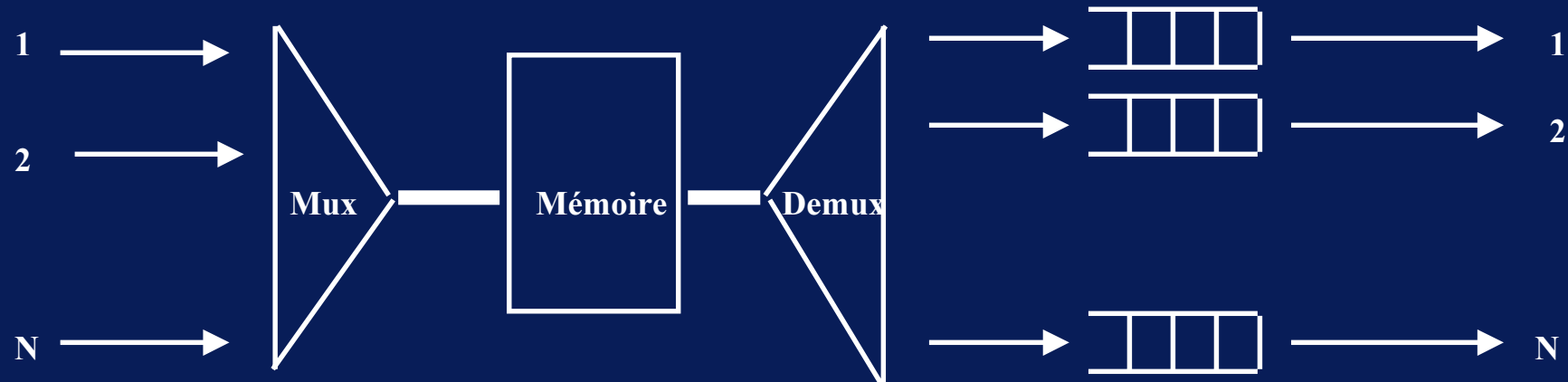


Files d'attente en sortie

TDM : Time Division Multiplexing

Commutateur ATM

TDM : Mémoire partagée



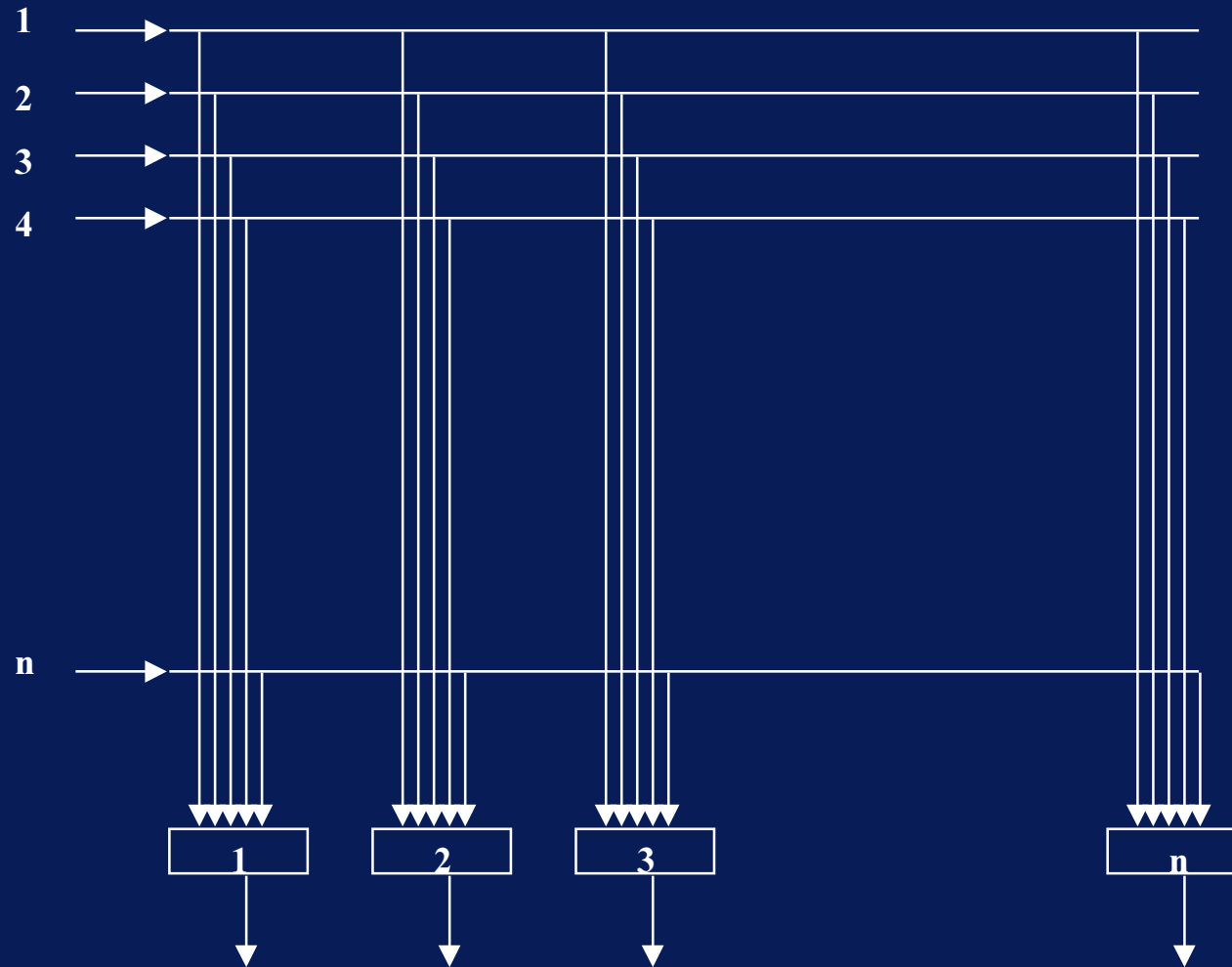
Files d'attente en sortie

TDM : Time Division Multiplexing



UREC

Commutateur ATM Architecture Crossbar



Chaque port d'entrée
relié
à un port de sortie



Pas de blocage :
- aux ports d'entrée
- dans le commutateur



Uniquement
aux ports de sortie



Commutateur ATM

Architecture Crossbar

- ◆ **La complexité réside dans les ports de sortie :**
 - logique de reconnaissance des cellules destinées à la sortie
 - logique de traitements des surcharges de trafic
 - » N entrées vers une même sortie;
- ◆ **Il nécessite beaucoup d'électronique dans chaque port de sortie (en N^2) => coût élevé.**
- ◆ **Bonnes performances en blocage**
- ◆ **Supporte facilement la diffusion multiple**
- ◆ **Problème des commutateurs conçus sur ce modèle :**
 - la faisabilité repose sur l'hypothèse que les arrivées de cellules ne sont pas liées ou ne sont pas en corrélation => ce n'est pas le cas du transfert de données.
 - grande probabilité de longues files d'attente => mémoire tampon importante.



UREC

Commutateur ATM

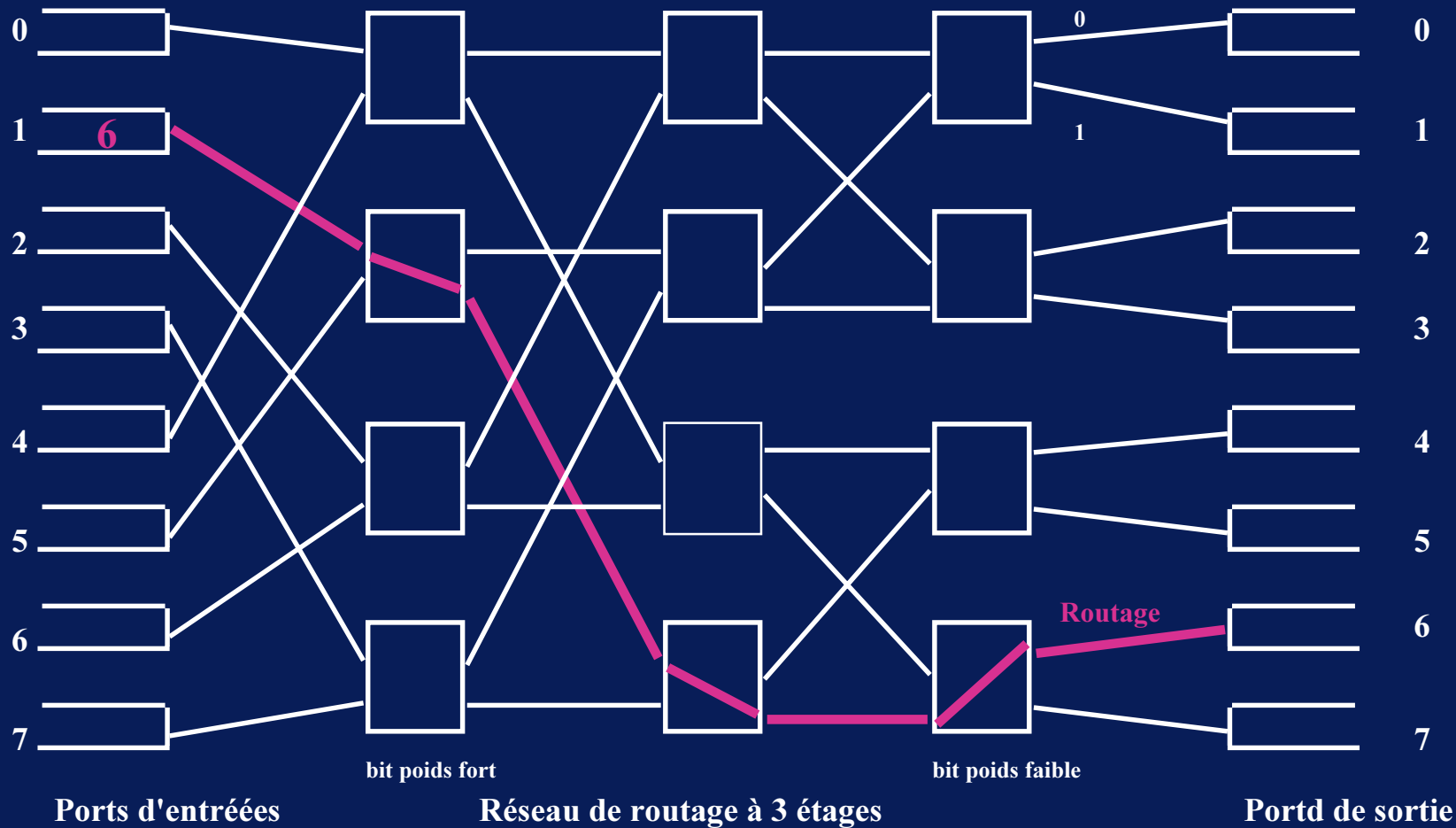
Architecture Batchers-Banyan

- ◆ Deux composants
 - un commutateur routeur banyan
 - un réseau de tri Batchers



UREC

Commutateur ATM Architecture Banyan



6 = 110

Commutateur 8 x 8



Commutateur ATM

Architecture Batchers-Banyan

◆ réseaux de tri Batchers

- K. E. Batchers en 1968 : version câblée d'un algorithme de tri-fusion.
- utilisation pour construire des commutateurs non bloquants.

◆ principes du commutateur

- on trie les cellules en entrée
- on recherche les cellules multiples à destination de la même adresse
- choix d'une cellule à passer au commutateur banyan pour chaque destination



Bibliographie

- ◆ **Asynchronous Transfer Mode (Martin De Prycker)**
éditions Ellis Horwood
- ◆ **Les réseaux gigabit (Craig Partridge)**
éditions Addison-Wesley
- ◆ **Comprendre ATM (ouvrage collectif de Bay Networks)**
éditions Addison-Wesley