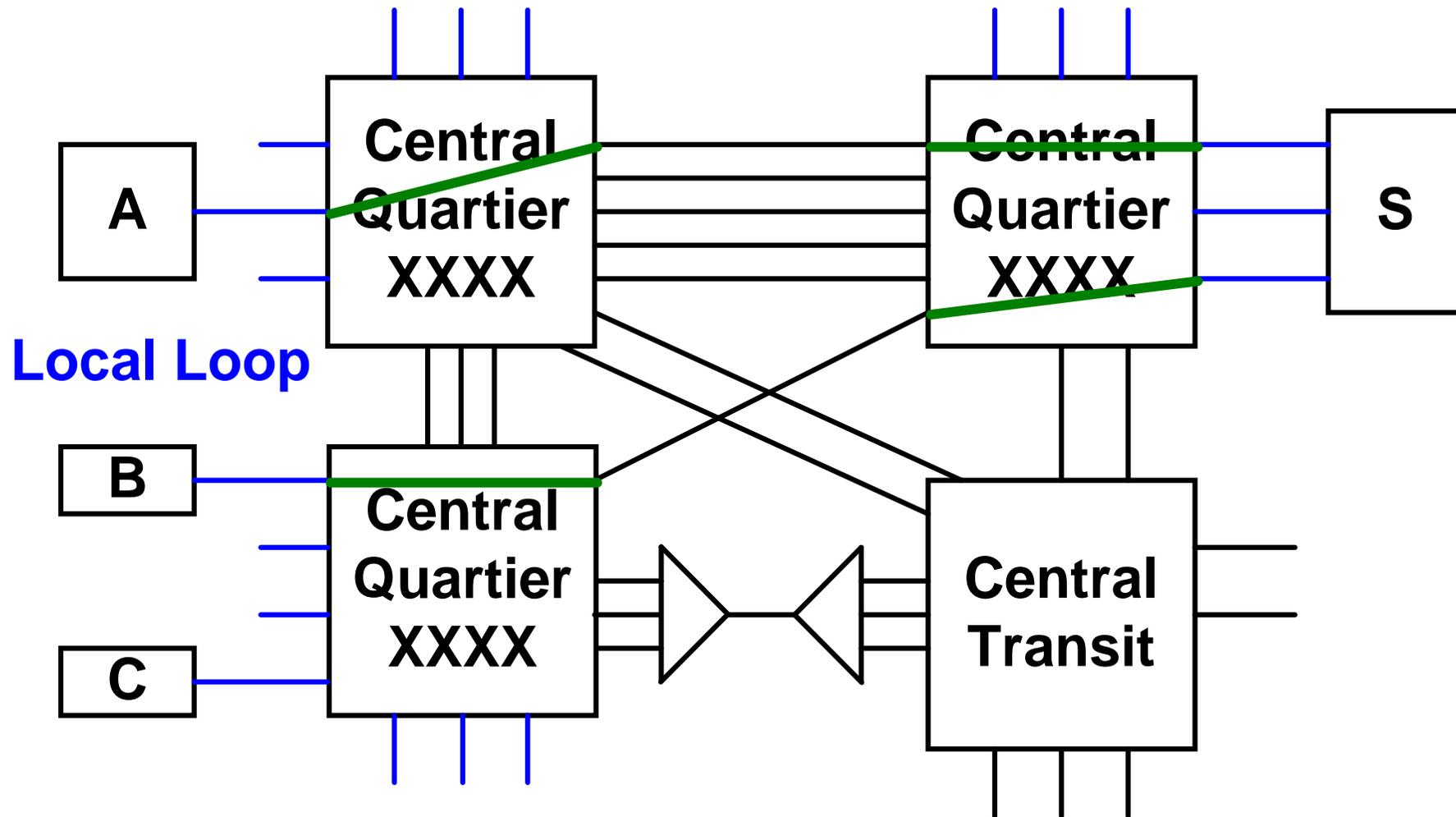


- **Commutation de circuit**
- **Commutation par paquets**
- **DTE mode paquet, DTE mode caractère, PAD**
- **Adresage X.121**
- **Routage et circuit virtuel**
- **Contrôle de flux**

- **Protocole X.25**
Format des paquets, canal logique, établissement du circuit virtuel, libération, transfert des messages

- **Services paquets du RNIS**

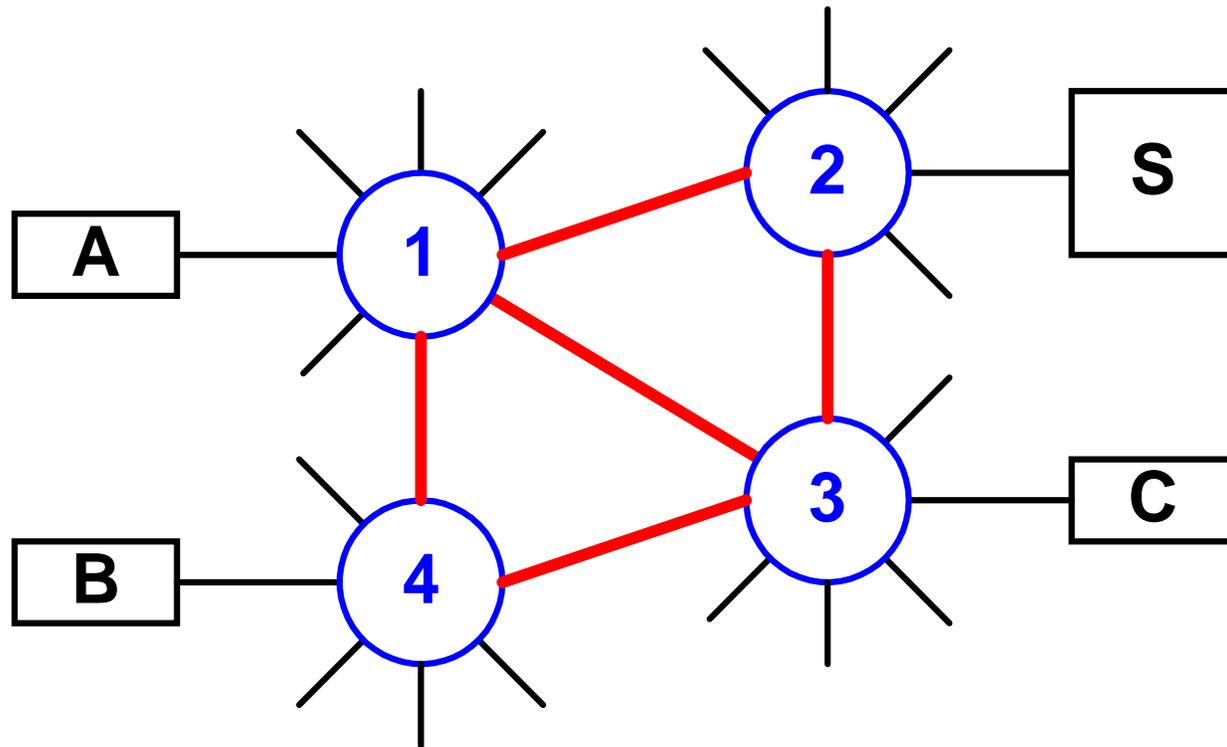
- Le réseau téléphonique commuté (*switched telephone network*) fait partie des réseaux à commutation de circuits (*Circuit Switched Network CSN*)



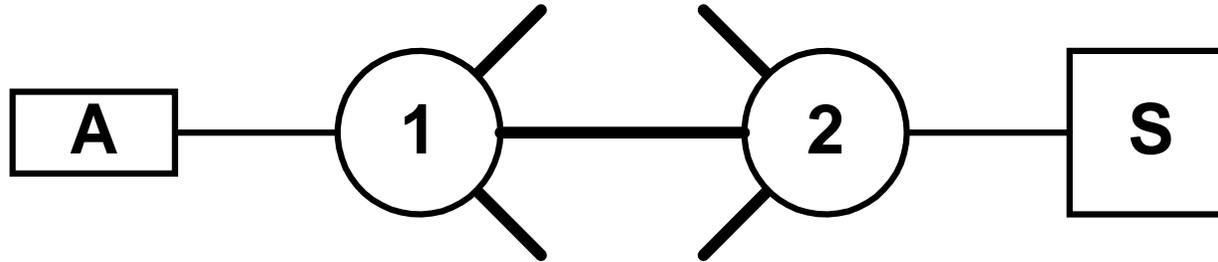
Structure maillée

- Exemple de partage d'un serveur S entre 3 utilisateurs A, B, C équipés d'un terminal et d'un modem
- Etablissement de la liaison (commutation) et **Réservation d'un canal**
- Transfert : débit binaire constant (bande passante)
temps de transit constant
tarif proportionnel au temps
- Libération de la liaison

- Un réseau à commutation par paquets (**Packet Switching Network PSN**) est constitué d'un ensemble d'ordinateurs spécialisés appelés **noeuds de commutation ou commutateurs (1, 2, 3, 4)** reliés entre eux par des **liaisons rapides** (64, 128, 256 kbit/s) formant ainsi un réseau maillé

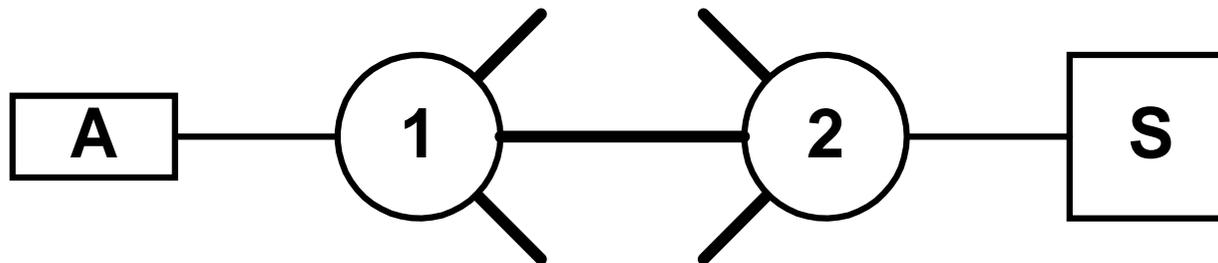


- Transfert d'un paquet de A vers S



- A envoie le paquet au noeud 1, qui le **conserve temporairement en mémoire**, en attendant de pouvoir le passer au noeud suivant
- 1 détermine le chemin que le paquet va emprunter; par exemple vers 2
- Cette opération de choix du chemin s'appelle le **routage** ou l'acheminement du paquet

- Dès que la liaison 1 → 2 est libre (**file d'attente**), le paquet est envoyé vers 2 (mise en mémoire); pour être finalement remis au destinataire S



- Tout au long de la liaison (A - 1 - 2 - S), **chaque paquet est mémorisé temporairement**
- Ce réseau assure pour ses utilisateurs (A, B, C, S) le transport de blocs d'information dont la taille est comprise typiquement entre 500 et 2000 bits et qu'on appelle paquets

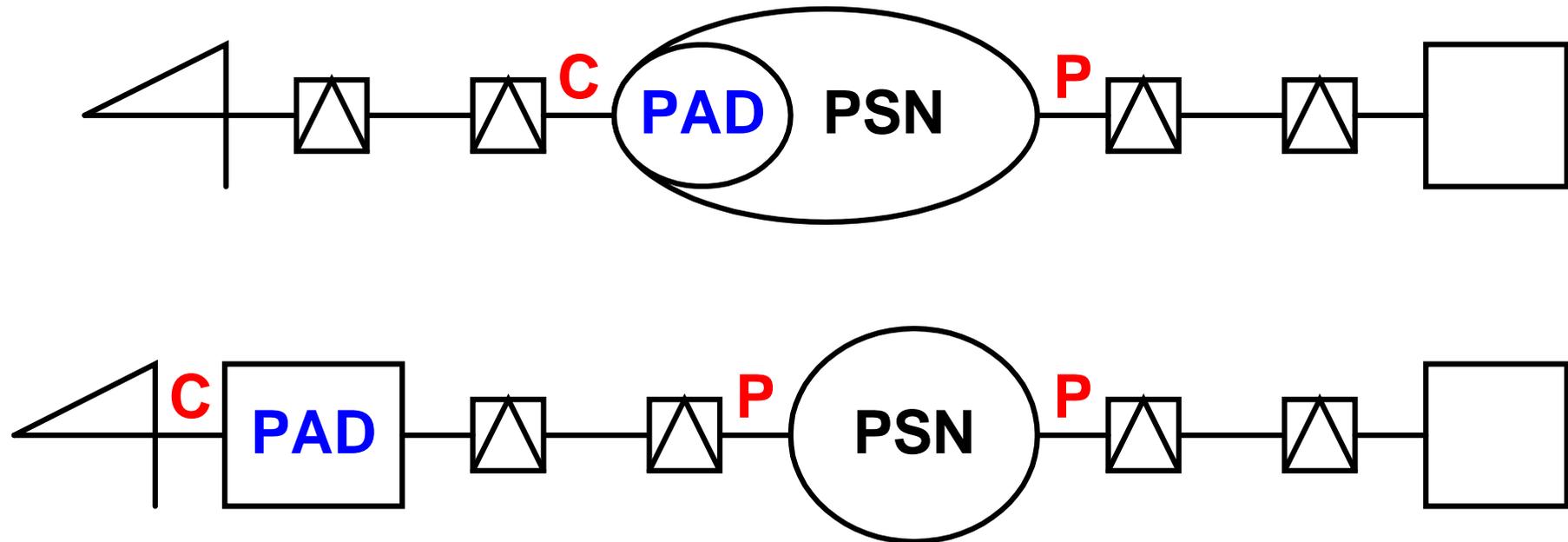
- On utilise **l'infrastructure existante** de transmission dont on améliore l'utilisation par simple adjonction de **noeuds de commutation**
- Les liaisons rapides intercentrales sont mises à disposition de tous les utilisateurs (**partage des ressources**)
- La capacité de **mémorisation** des noeuds et la **structure maillée** du réseau permettent d'adapter au mieux le chemin suivi par les paquets (**répartition du trafic, fiabilité**)
- Tout paquet doit comporter un certain nombre d'**information de service** (en-tête contenant l'adresse du destinataire, des bits nécessaires aux contrôles d'erreur et de flux) qui diminue le débit effectif de données (*throughput*)

- Le **temps de transit moyen** des paquets (du noeud d'origine au noeud de destination), de l'ordre de 150 à 200 [ms], permet de travailler en mode interactif (ou conversationnel)
- Ces réseaux appliquent en général un **tarif proportionnel au volume d'information** échangée qui ne tient pas compte des distances
- L'**interface** entre utilisateur et noeud de commutation est normalisé par un **protocole** de communication X.25
- L'échange de données entre 2 utilisateurs travaillant à des **débits binaires différents** est possible grâce aux circuits tampon des noeuds

Commutation par paquets : classe d'utilisateur (1)

1 - 9

- On distingue 2 grandes classes d'utilisateurs :



- **DTE mode paquet (P)**

L'équipement DTE, dit "intelligent", est capable de :

former un paquet

gérer le contrôle d'erreur (HDLC)

effectuer l'adressage

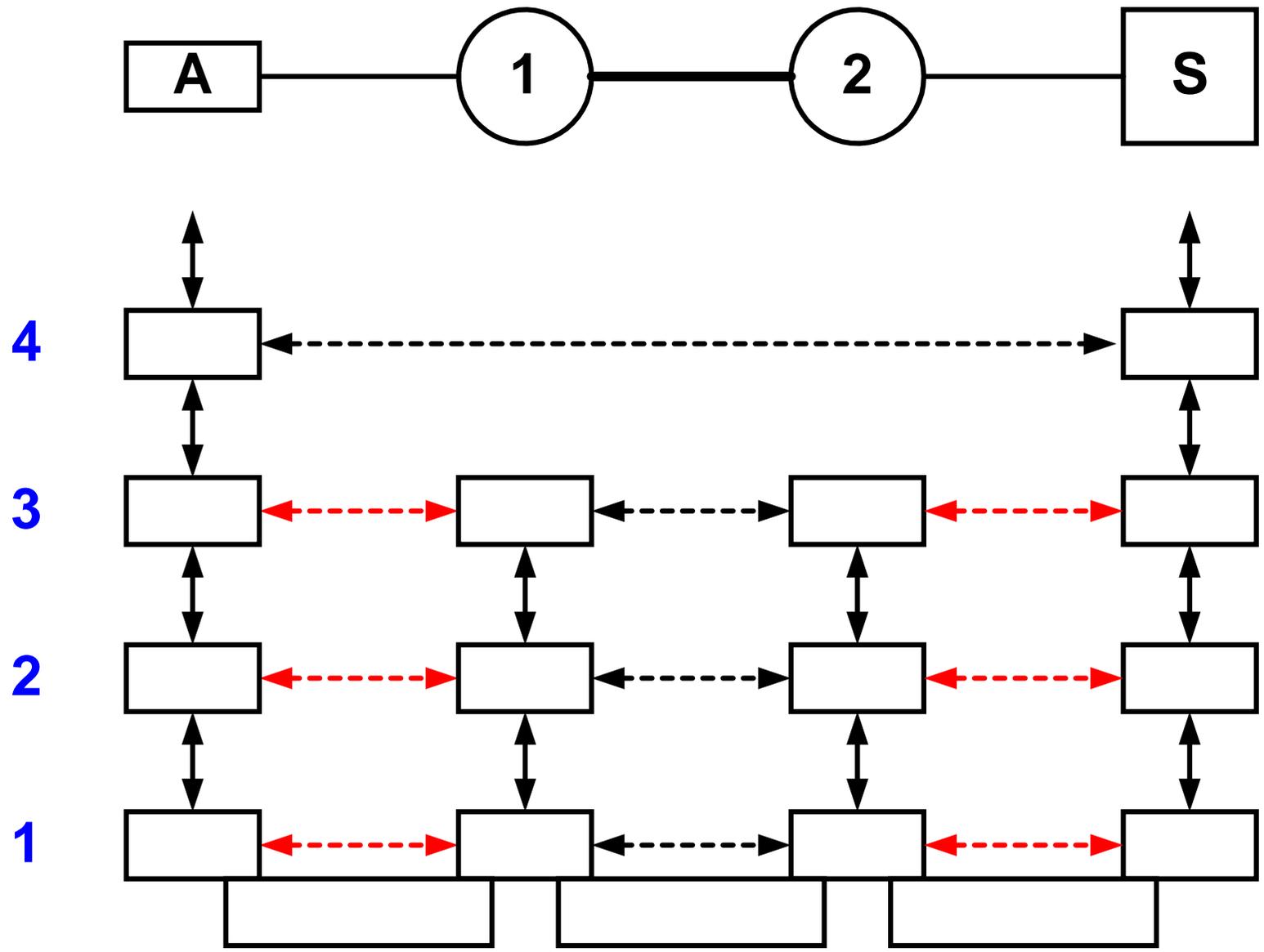
→ Il doit donc respecter le protocole X.25

- **DTE mode caractère (C)**

Le terminal est du type "non-intelligent" asynchrone

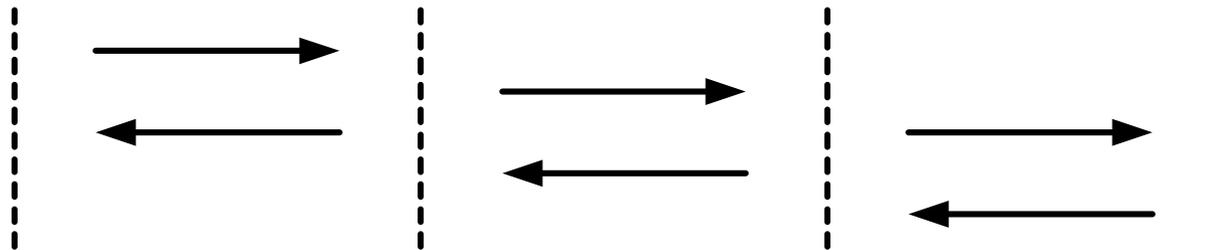
Bien que ce type de réseau soit prévu pour fonctionner principalement avec des DTEs mode paquet, il permet l'utilisation de terminaux "non-intelligents" en effectuant des conversions de protocole à l'aide du **PAD** (*Packet Assembler Disassembler*, assembleur désassembleur de paquet)

Commutation par paquets et modèle de référence (1) - 11

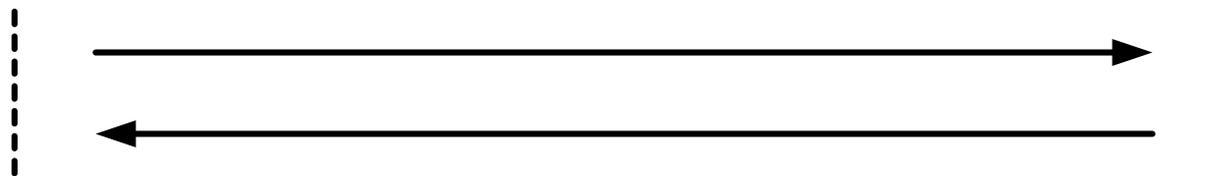


Commutation par paquets et modèle de référence (2) - 12

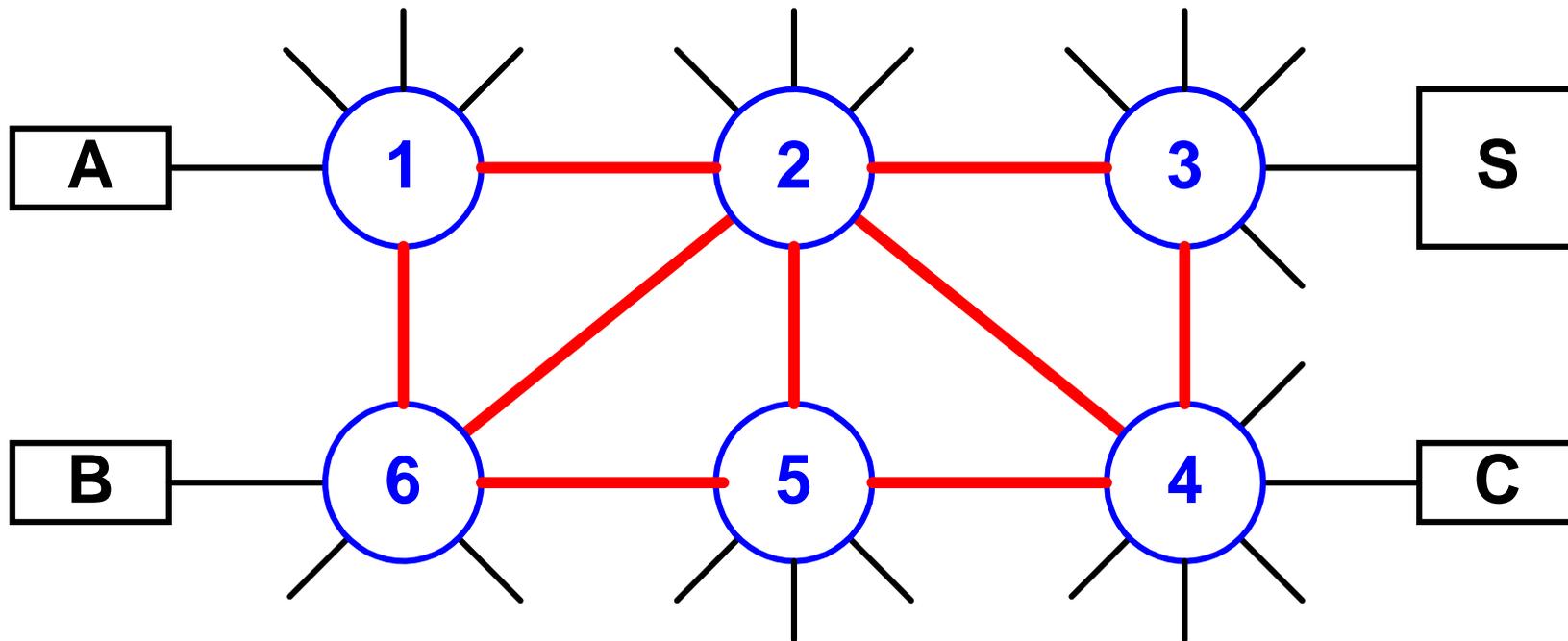
- Les noeuds du réseau interviennent pour les 3 couches inférieures (**protocole X.25**)
- Pour chacune d'elles, nous avons des **protocoles en cascade**



- Les protocoles des couches 4 à 7 sont dits d'extrémité à extrémité (**end to end protocol**)



- La couche réseau (niveau 3) est responsable de l'acheminement des messages de la couche transport, qui peuvent traverser plusieurs noeuds intermédiaires; donc suivent des chemins différents grâce à la topologie maillée du réseau



- **Adressage**

Où envoyer le message ?

(adresse de destination)

Qui envoie le message ?

(adresse de source)

- **Routage et circuit virtuel**

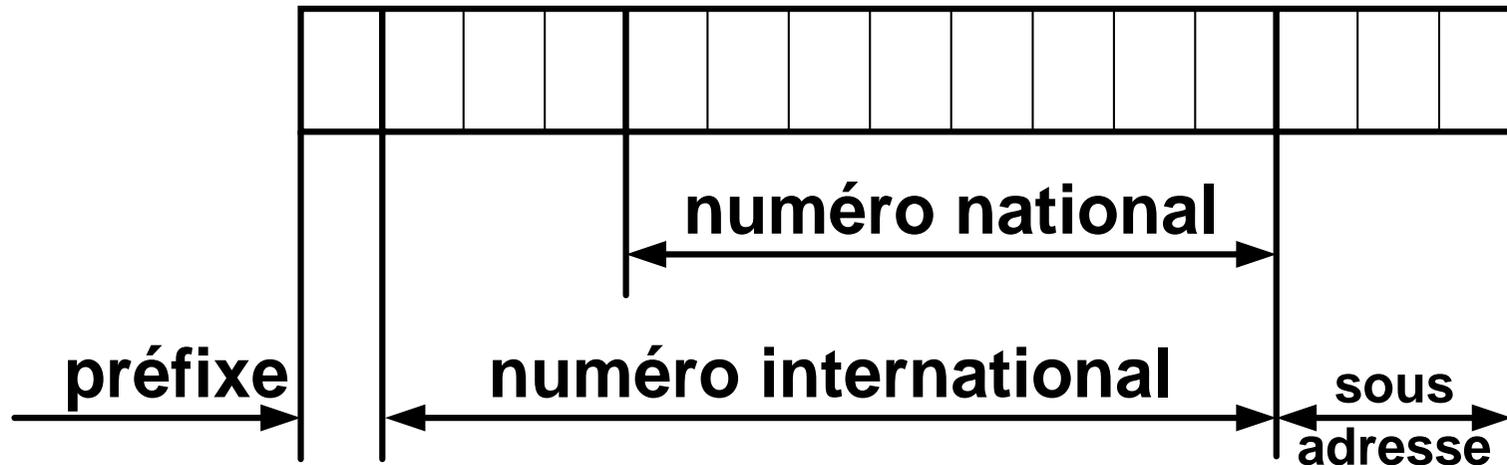
Par quel chemin envoyer le message ?

Responsabilité du PSN

- **Contrôle de flux**

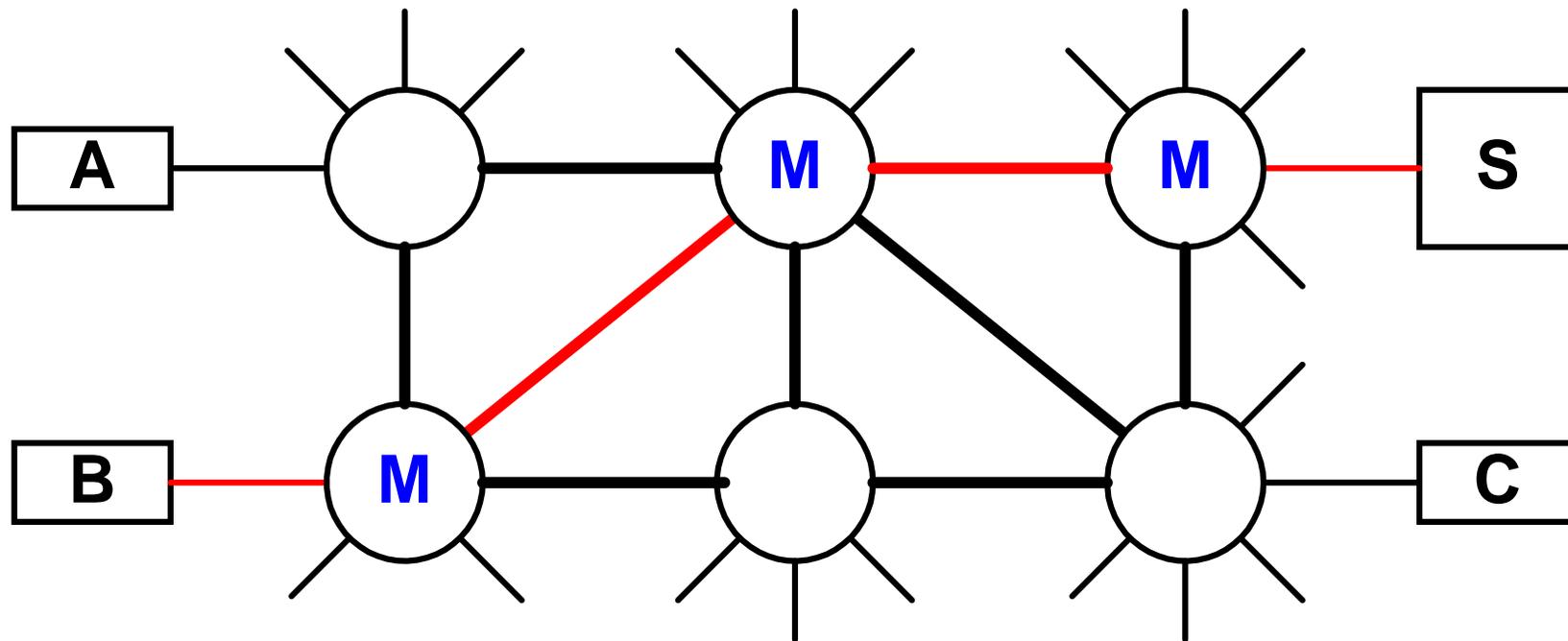
Producteur - consommateur

- L'UIT a défini un **plan de numérotation X.121** facilitant la mise en service des réseaux publics de données et assurant leur interfonctionnement à l'échelon mondial



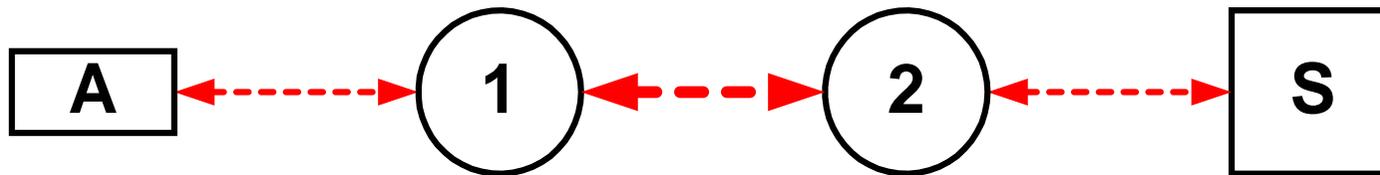
- **Chaque raccordement physique** possède un numéro national de 8 digits
- Le pays est codé avec 3 digits :
 - CH=228
 - F=208
 - D=262
 - USA=310-313
- Préfixe depuis CH : 0
- Le champ "sous-adresse" est facultatif et le réseau le transmet de façon transparente

- Le **circuit virtuel** diffère du circuit physique par le fait que la bande passante du réseau est utilisée seulement lors du transfert des paquets (et non de manière permanente comme en commutation de circuit)
- L'établissement du circuit virtuel s'accompagne :
 - d'une **réservation de tampons mémoire**
 - d'une mise à jour des **tables de routage**dans chaque noeud traversé



- Le transfert des messages utilisera ce même chemin, qui n'est ainsi créé qu'une seule fois !
- Le circuit virtuel remettra les messages en séquence au destinataire

- Le contrôle de flux doit permettre au destinataire de **ralentir** la fréquence d'émission des messages émis par l'expéditeur, lorsque le destinataire risque d'être débordé (*overrun*)
- Il assurera en plus la séquence des messages
- 3 mécanismes de contrôle de flux règlent l'échange des messages le long du circuit virtuel → **protocoles en cascade**



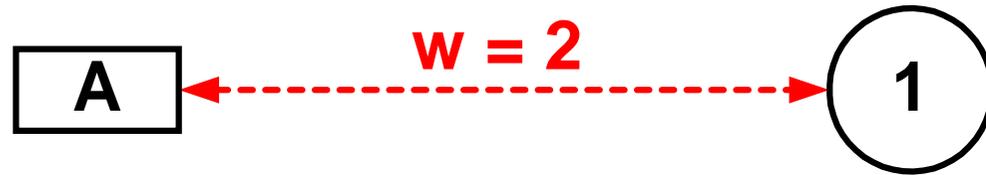
- Chaque **message** contient un numéro de séquence **P(S)** compris entre 0 et 7 (modulo 8)



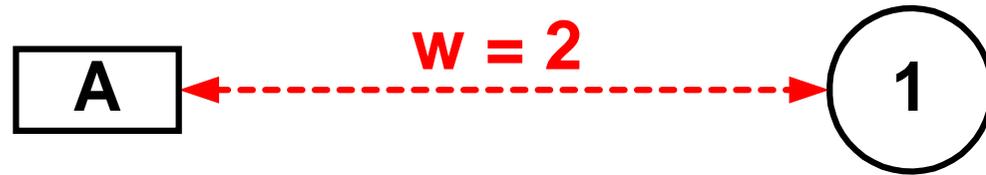
- Chaque crédit contient un numéro de séquence **P(R)** compris également entre 0 et 7



- La **fenêtre de contrôle de flux w** définit le nombre maximum de messages que l'expéditeur peut envoyer sans crédit du destinataire
- Cette fenêtre définit en fait le **nombre de tampons** que le destinataire doit posséder afin de ne pas perdre de message



message 0 émis	→ S=0	MSG
message 0 consommé	← R=1	
message 1 émis	→ S=1	MSG
message 2 émis	→ S=2	MSG
émission bloquée		
messages 1 & 2 consommés	← R=3	



message 3 émis

→ S=3



message 4 émis

→ S=4



émission bloquée

message 3 consommé

← R=4

message 5 émis

→ S=5

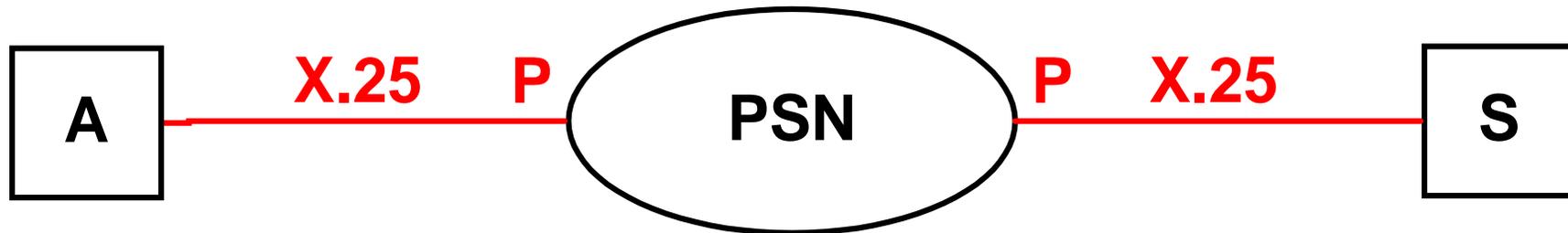


émission bloquée

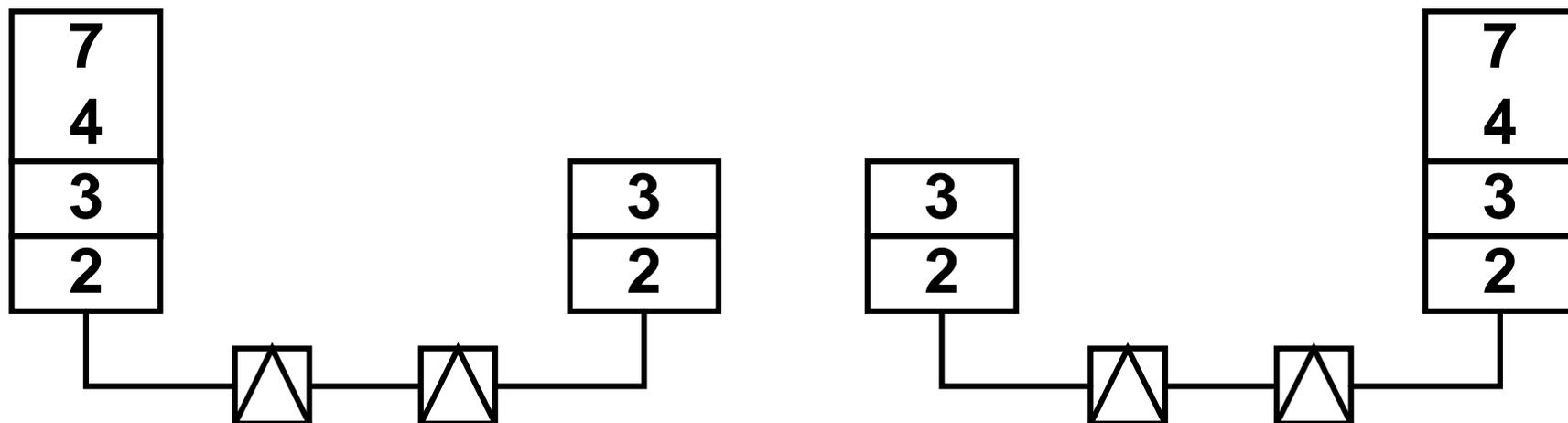
messages 4 & 5 consommés

← R=6

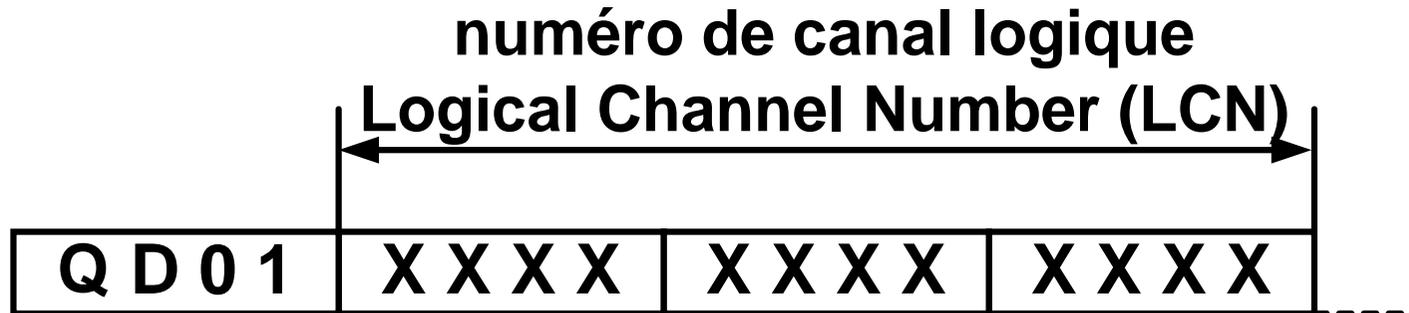
- L'UIT a normalisé, avec X.25, les protocoles de connexion aux réseaux publics à commutation par paquets



- Cette norme définit l'"interface entre DTE et DCE pour terminaux fonctionnant en mode paquet et raccordés au réseau public de données par un circuit spécialisé".



- **Cette norme comprend 3 couches :**
- ***Physical layer* :** circuit spécialisé
interface point à point
transmission synchrone
mode duplex intégral
signaux V.24
- ***Data link layer* :** protocole HDLC
- ***Network layer* :** protocole étudié dans ce chapitre

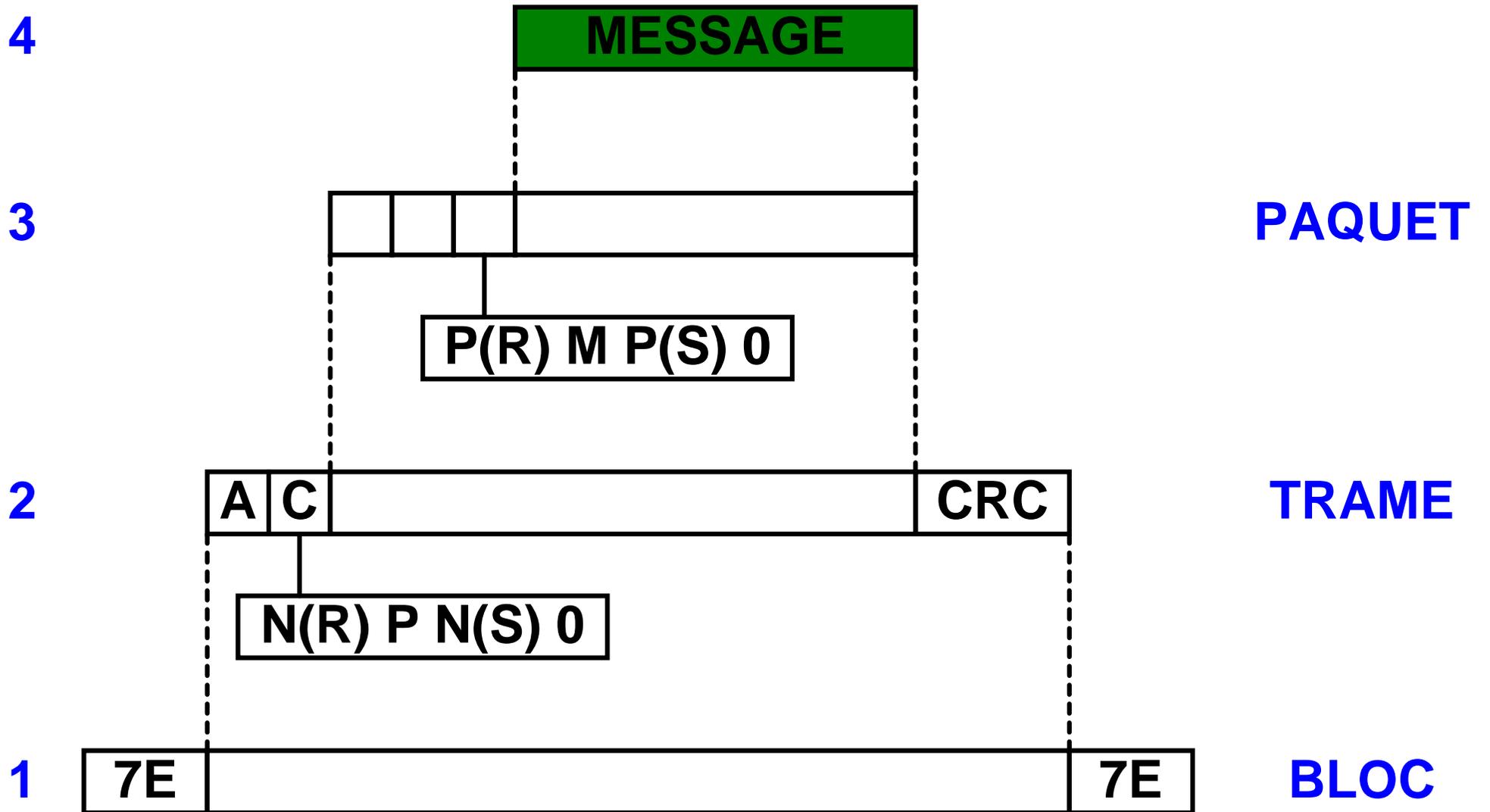


CALL				OB		paramètre
CALL ACCEPT.				OF		
CLEAR				13		cause
CLEAR CONF.				17		
DATA	P(R)	M	P(S)	0		MESSAGE
Receiver Ready	P(R)			0 0 0 0 1		
Rec. Not Ready	P(R)			0 0 1 0 1		

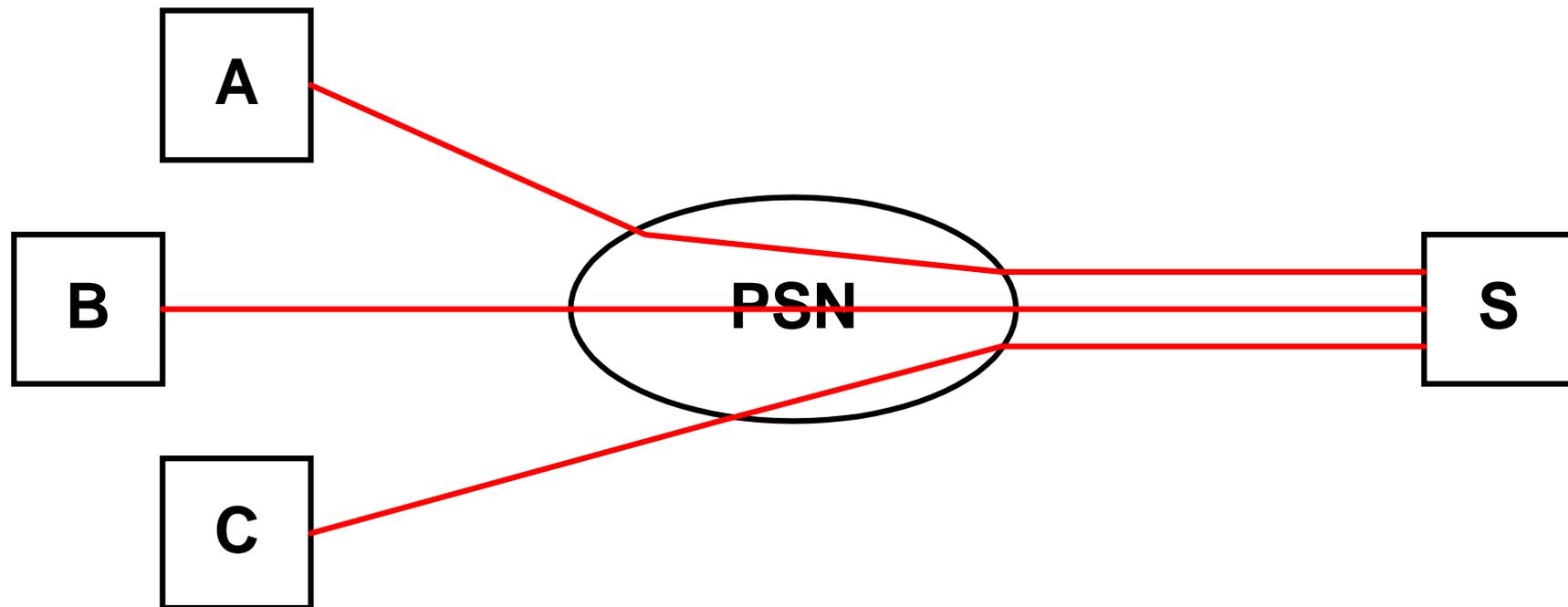
- Les paquets comportent au minimum 3 octets

INTERRUPT	23	paramètre
INTER CONF.	27	
RESET	1B	cause
RESET CONF.	1F	
RESTART	FB	cause
RESTA. CONF.	1F	

- Voir exemples

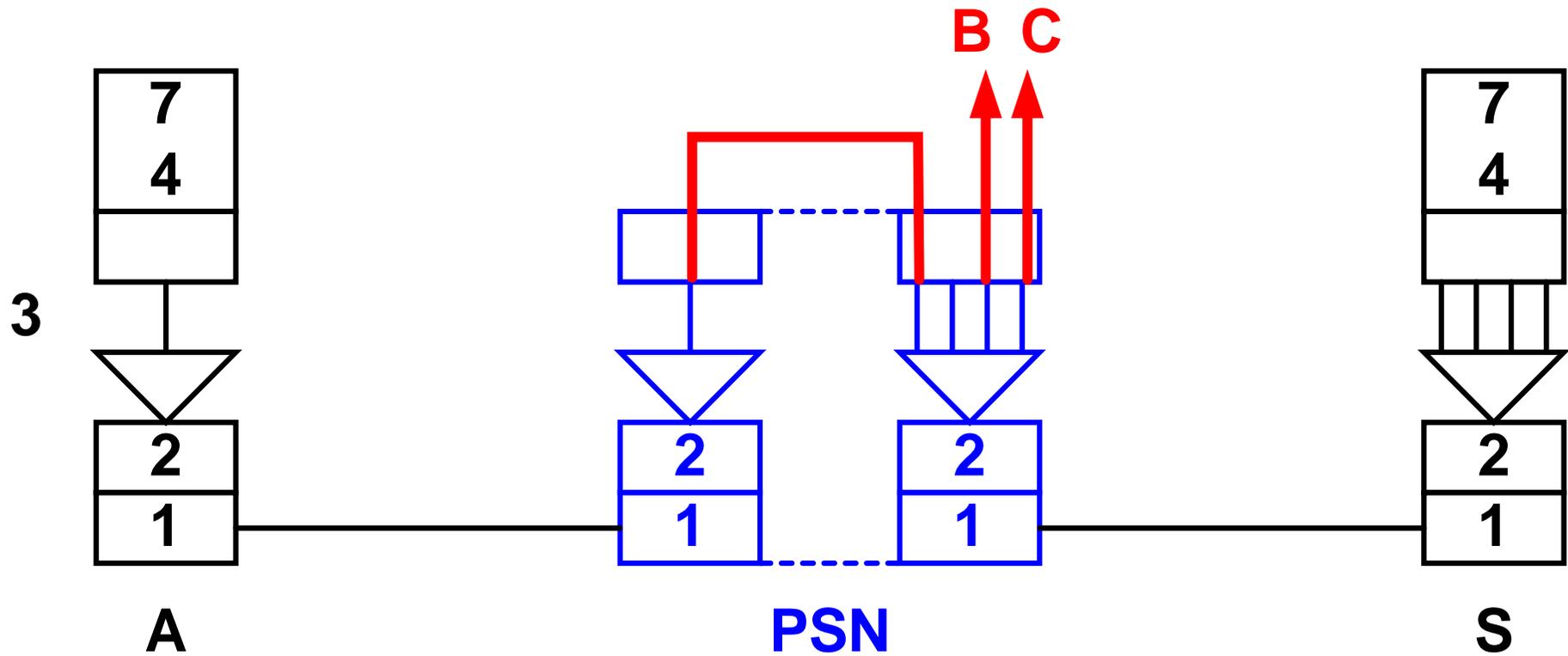


- 3 utilisateurs A, B, C échangent des données avec un serveur par l'intermédiaire d'un réseau à commutation par paquets (PSN)



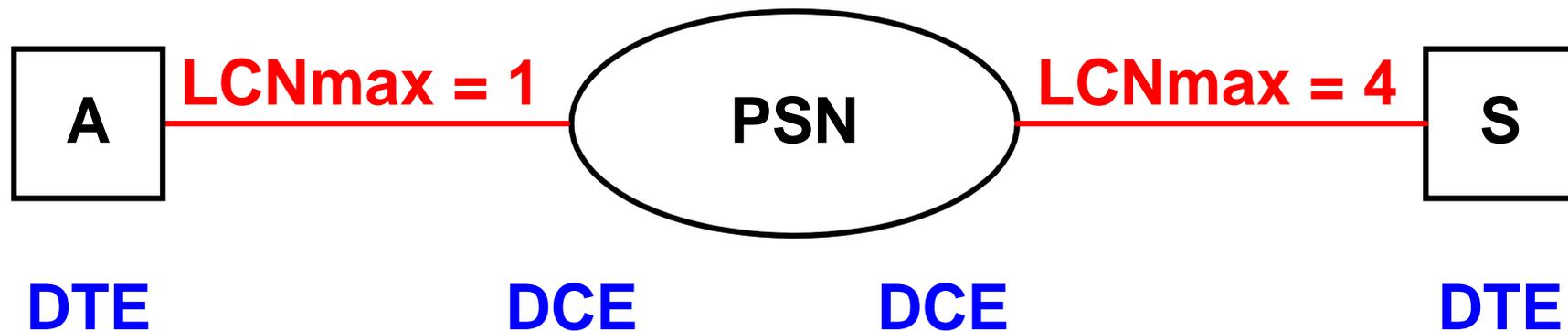
- **3 circuits virtuels** sont nécessaires !

- **Détail de la couche 3**



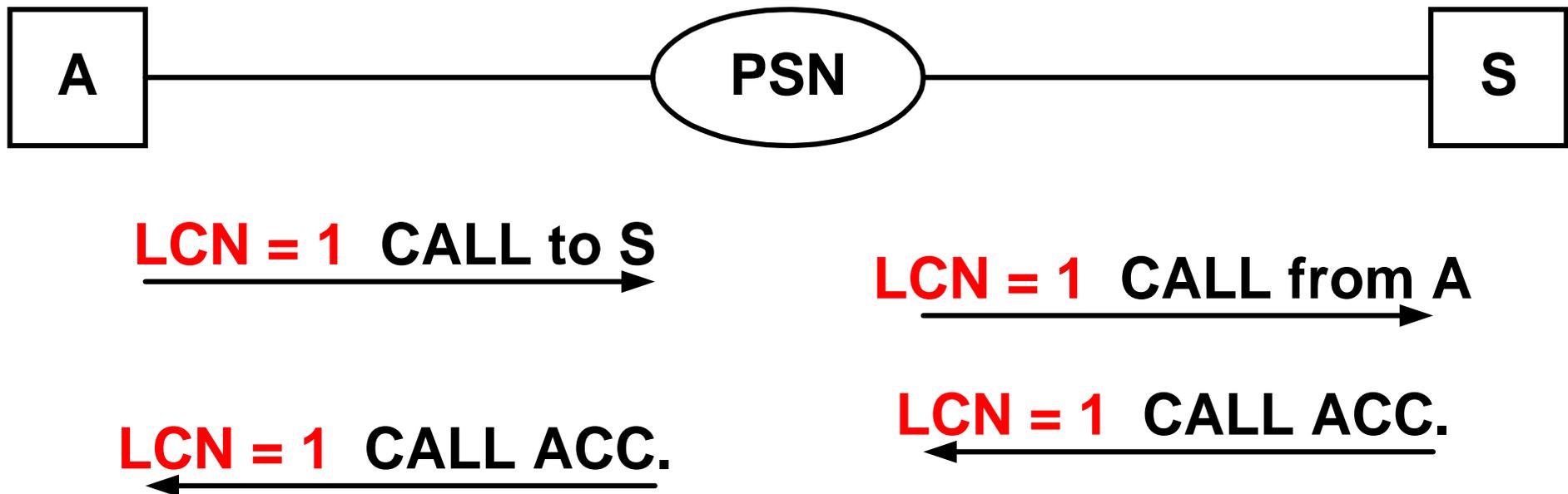
- Le canal logique est une **entité locale entre DTE et DCE**
- **Il existe toujours !**
- Soit il est **occupé**, et donc associé à un circuit virtuel, soit il est **libre**
- La norme X.25 permet d'utiliser un maximum de 4096 canaux logiques (champ de 12 bits)

- Chaque abonné doit préciser, dans les paramètres d'un raccordement X.25, le nombre maximum de canaux logiques nécessaires
- Dans l'exemple précédent, le nombre maximum de canaux logiques est égale à 4 pour S et 1 pour A

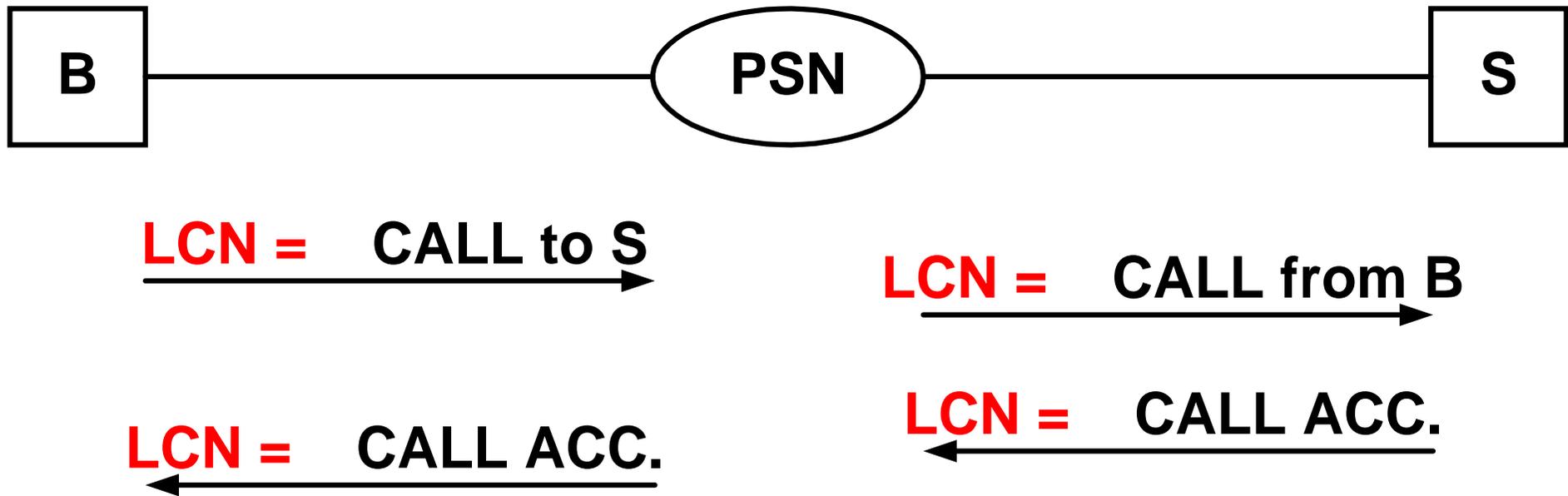


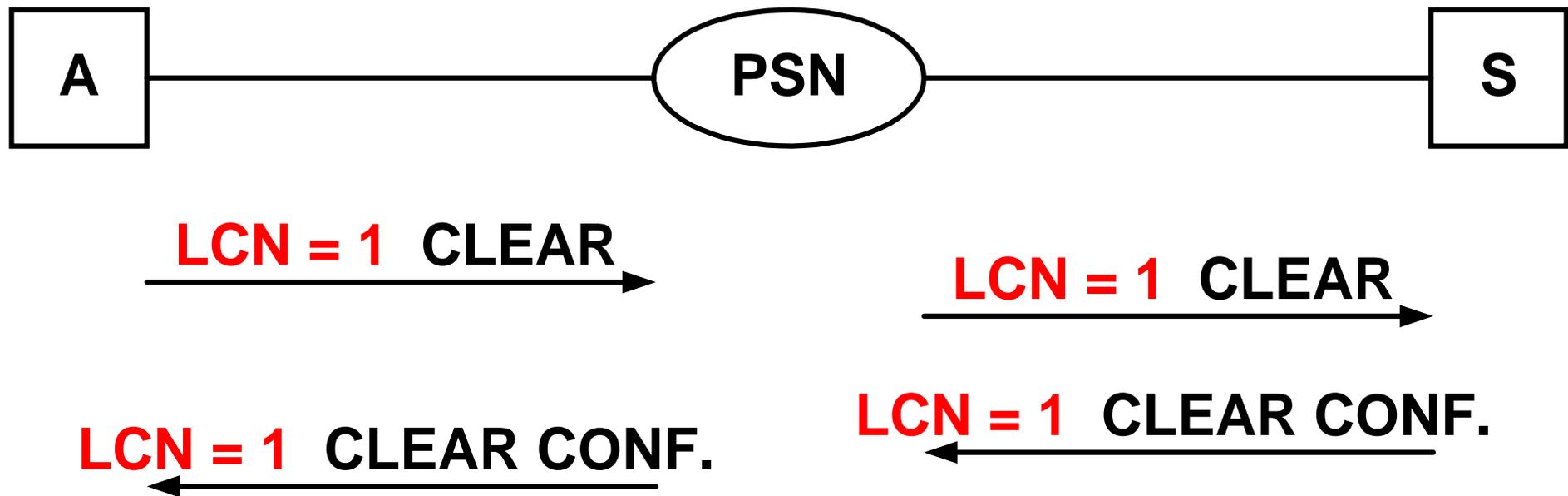
Etablissement du circuit virtuel (1)

- Le paquet CALL sert à l'établissement du circuit virtuel
- Il contient :
 - le numéro du canal logique (Logical Channel Number)
 - l'adresse de destination (X.121)
 - l'adresse de source (X.121)



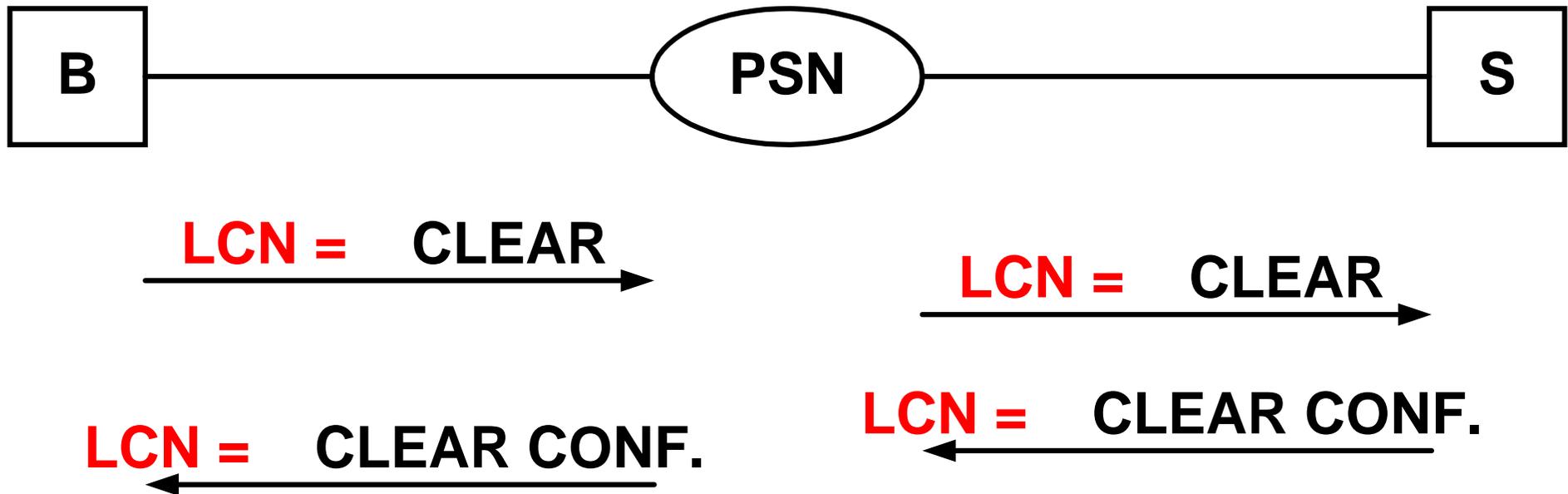
- Qui (DTE / DCE) choisit le numéro de canal logique ?
- Préciser les valeurs possibles de LCN



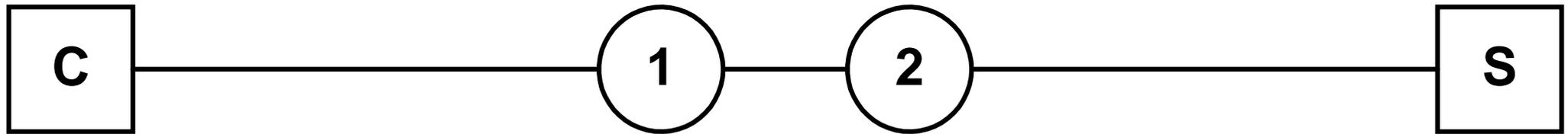


- Seul le paquet CALL contient l'adresse de destination X.121 !
- **Tous les paquets font référence au numéro de canal logique**

- Préciser les valeurs utilisées pour libérer le circuit virtuel entre B et S



- Admettons que le circuit établi entre C et S traverse 2 noeuds



LCN = 5 DATA S=0 R=0



LCN = 5 RR R=1



LCN = 8 DATA S=0 R=0



LCN = 8 RR R=1



LCN = 5 DATA S=1 R=0



LCN = 5 RR R=2



LCN = 8 DATA S=1 R=0



LCN = 8 DATA S=0 R=2



LCN = 5 DATA S=0 R=2



LCN = 5 RR R=1



LCN = 8 RR R=1



- Le paquet RESTART initialise les canaux logiques et utilise le canal logique 0 (réservé à cet usage)

DTE (niv. 2 et 3)

DCE (niv. 2 et 3)

→ SABM

← UA

← I S=0 R=0 LCN=0 RESTART

→ RR R=1

→ I S=0 R=1 LCN=0 RESTART CONF.

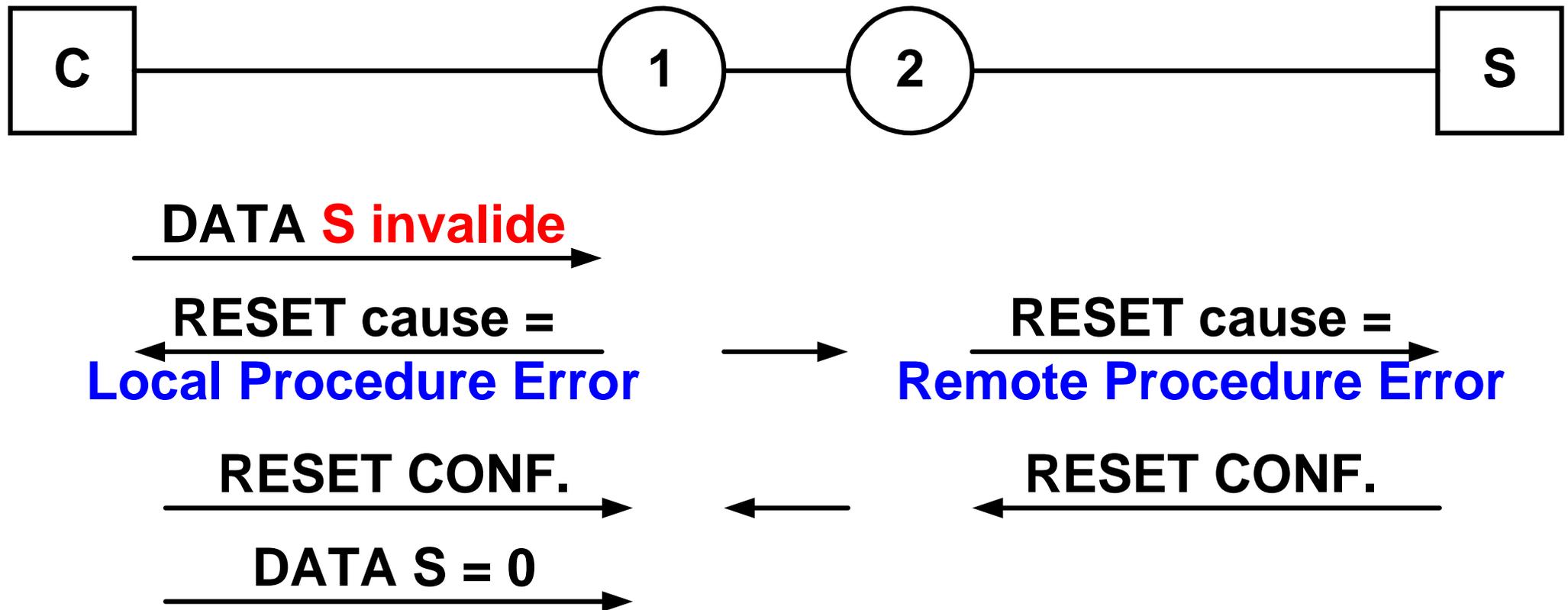
← RR R=1

→ ... LCN=0 RESTART

← ... LCN=0 RESTART CONF.

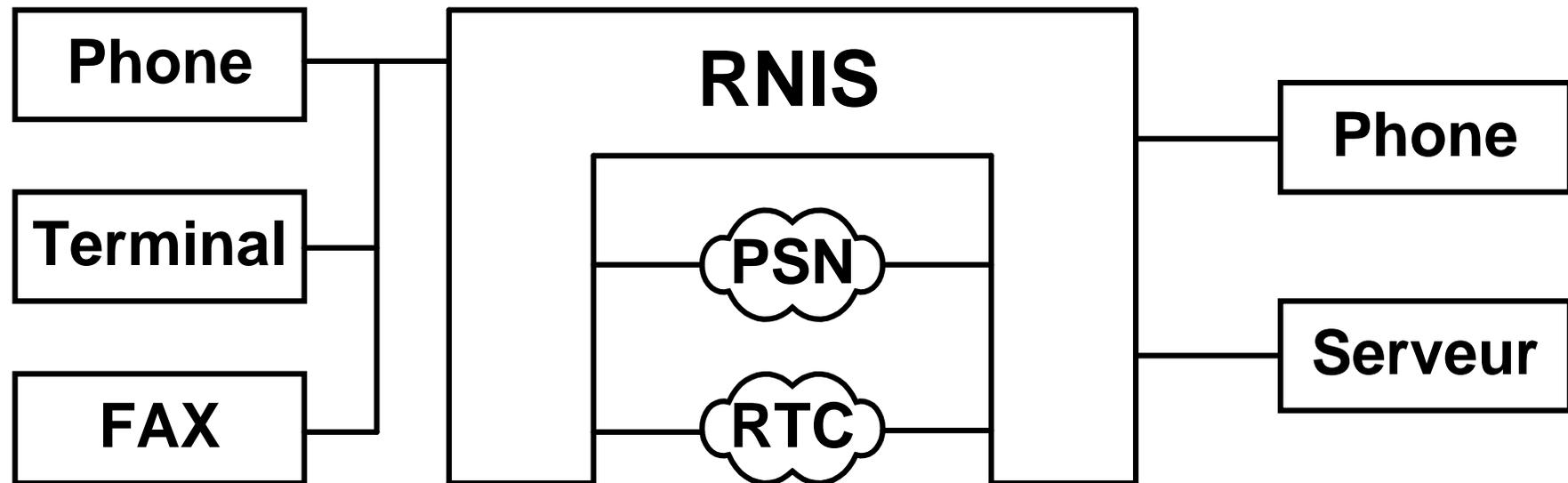
- Tous les canaux sont libérés

- Rappelons que la couche 2 gère le contrôle d'erreur
- En conséquence, la couche 3 contrôlera : P(S) invalide, P(R) invalide, paquet trop long, message non multiple de 8 bits



Techniquement, plusieurs variantes du service support en mode paquet (*Packet Mode Bearer Services - PMBS*) sont possibles :

- X.31 variante A consiste à utiliser le RNIS comme réseau d'accès du service en mode paquet (intégration **minimale**)
- L'intégration **maximale** (variante B) impose l'intégration du mode paquet dans le RNIS



- Connexion d'équipements différents (téléphone, fax, terminal, ...) à une **prise unifiée**
- **Un seul numéro d'appel**

- 3 X.25 LCNmax=5
user data length = 128 bytes

 - 2 Q.921 LAPD SAPI = 16
max de 4 TEIs (TEI fixe)
liaison logique permanente entre TE et *Packet Handler*

 - 1 9,6 kbit/s le canal D fonctionne à 16 kbit/s (BRI)
la signalisation est prioritaire
- Taxe mensuelle ISDN Pac = 5,40 par TEI

- 3 X.25 LCNmax=256
user data length = 128 bytes

 - 2 Q.921 LAPB (HDLC)
liaison logique permanente ou commutée

 - 1 64 kbit/s
- Taxe mensuelle ISDN Pac = 861.-

- **Frais de volume**

Segment entier (64 bytes) ou partiel

CH (8h – 19h)

0.0107

CH (19h – 8h)

0.00426

Etranger

voir taxation Telepac

- **Aucun frais de préparation**

à contrôler

- **Aucun frais à la durée**

à contrôler

- **Déterminer les frais de communication pour afficher 20 écrans (25 lignes de 80 caractères) en 30 min**
- **RNIS mode paquet**
- **RNIS mode circuit**

- **RNIS mode paquet**

Volume = $20 \times 25 \times 80 = 40'000$ byte \rightarrow 625 segments

Tous les segments sont-ils entiers ?

Comptabiliser le flux client \rightarrow serveur

Prix = $625 \times 0,0107 = 6,70$

- **RNIS mode circuit**

Prix = $30 \times 0,08 = 2,40$

Frais de préparation = 0,10 ?

**Volume théorique max = 2 (sens) \times 30 (min) \times 60×64 (kbit/s)
= 28,8 MByte**

Protocol overhead for file transfer ?