

Chapitre 6 : Le niveau Réseau

/home/kouna/d01/adp/bcousin/REPR/Cours/6.fm - 15 Janvier 1998 15:05

Plan

- Introduction
- Les mécanismes généraux :
 - . segmentation, adressage, routage, contrôle de congestion
- Le protocole X25.3 :
 - . fonctions et service, format des paquets, protocole
- Conclusion

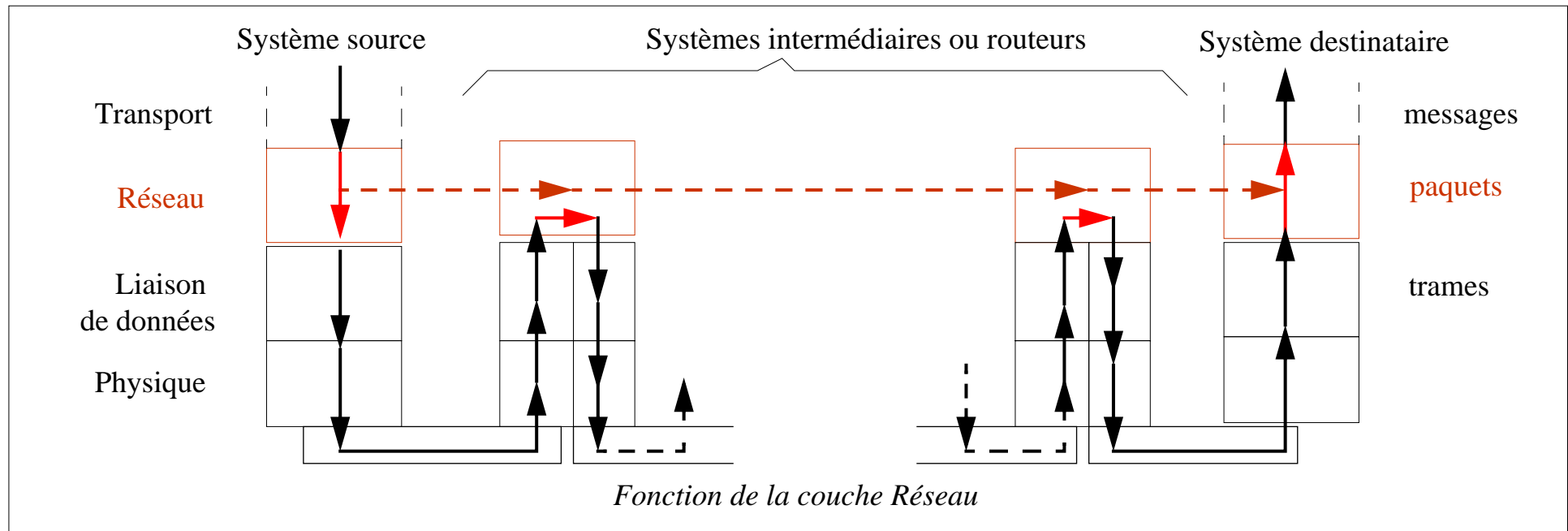
Bibliographie

- Service et protocole d'accès au réseau, ISO 8348 et 8208 (CCITT X25 et X213)
- G.Pujolle, Les réseaux, Eyrolles, 1995. Chapitre 6.
- H.Nussbaumer, Téléinformatique, Presses polytechniques romandes, 1987. Tome 2, Chapitre 2.
- A.Tanenbaum, Réseaux, InterEditions, 1997. Chap. 5.
- U.Black, X.25 and related protocols, IEEE computer society press, 1991.

1. Introduction

1.1. Fonctions de la couche Réseau

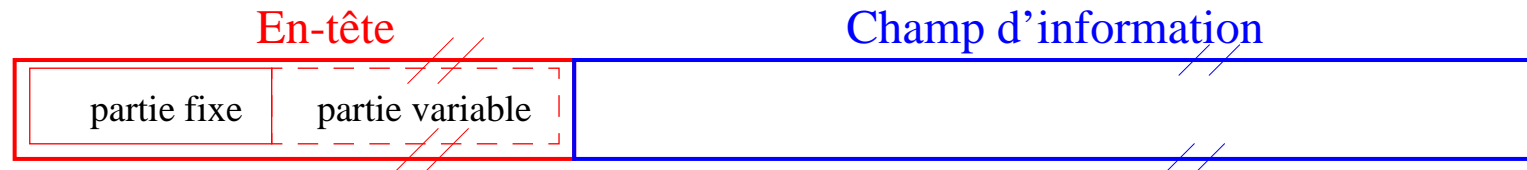
□ Cette couche est chargée de transmettre les données de la couche supérieure (Transport) en utilisant un système de communication (un réseau) composé de systèmes intermédiaires (généralement homogènes) interconnectés par des liaisons de données.



Remarque : le terme réseau est ambiguë puisqu'on l'utilise à la fois pour nommer la couche et le système de communication. En plus, le réseau peut être constitué de plusieurs (sous-)réseaux.

1.2. Le paquet

- C'est l'unité de données d'un protocole de niveau Réseau (**N-PDU** : "Network PDU")
 - généralement de longueur variable (mais bornée)
 - une **entête**
 - . composée d'une partie fixe (champs fixes en nombre et en taille)
 - . et parfois d'une partie optionnelle (champs optionnels)
 - un **champ d'information**.
 - Exemple : X25.3 ou IP



Format général d'un paquet

□ Remarques :

- Suivant le rôle qui est attribué à un paquet, son champ d'information peut être vide.

2. Segmentation-réassemblage

Les messages émis par les applications peuvent être de dimension très variable :

- commandes de quelques caractères
- fichiers de plusieurs Giga octets

Les paquets acheminés dans le réseau doivent avoir la juste taille :

- ni trop long :
 - . difficulté de la gestion du stockage, efficacité de la protection contre les erreurs, augmentation du temps de commutation
- ni trop court
 - . surcoût de l'entête devient prépondérant

Le protocole de la couche Réseau met généralement en oeuvre un mécanisme de segmentation:

- identification des N-PDU appartenant aux différents N-SDU
- ordonnancement des N-PDU appartenant au même N-SDU
- délimitation des N-SDU entre-eux (marquage du dernier N-PDU de chaque N-SDU)

Note : au sein d'une connexion, les deux premiers points sont naturellement rendus !

3. Adressage

□ La couche Réseau utilise des adresses pour identifier les systèmes (d'extrémité et intermédiaires).

Deux types de structuration des adresses existent :

■ l'adressage **global** (linéaire, plat) :

- chaque station se voit attribuer un numéro indépendamment de sa localisation,

☞ Des stations voisines peuvent avoir des adresses sans aucune relation entre elles.

■ l'adressage **hiérarchique** (structuré) :

- chaque adresse est décomposée en champs, sous-champs, etc.

- la sémantique associée à chaque champ peut être géographique ou fonctionnelle

Quelques critères pour le choix de la structure d'adresse :

- mobilité : + adressage global

- routage : + adressage hiérarchique géographique

- diffusion (identification d'un groupe de stations) : + adressage global

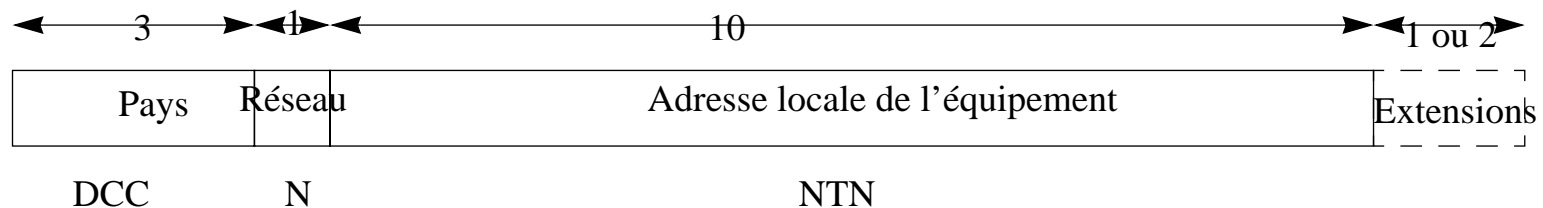
- densité : + adressage global

3.1. L'adressage ISO

■ L'adressage X.121 : réseau public de données numériques

Adressage hiérarchique

14 demi-octets (utilisant une représentation DCB)



Préfixes réservés : 0=E.163 (téléphone), 1=reservé, 8=F.69(télex), 9=E.164(RNIS)

Le champ DCC (“data country code”)

- Exemple : US = [310-329], France = [208-212]

Le champ N (“network code”) : 10 au plus par DCC!

- Exemple : Transpac = (208)0

Le champ NTN (“network terminal code”) : 10 chiffres (optionnellement 12).

- La structuration interne de ce champ d'adresse est choisie par l'administrateur local.

■ E.164 :

Plan d'adressage pour le RNIS (similaire au E.163 : plan du téléphone)

CC : "country code" (variable)

NN : "national number" (variable), consistant en 2 autres codes:

- NDC : "national destination code" (variable)
- SN : "subscriber number" (variable)

. La structuration interne de ce champ d'adresse est choisie par l'administrateur local.

■ Norme ISO 8348/2 ou CCITT X.213/A :

Plan d'adressage hiérarchique :



- **Initial domain part** :
 - . Authority format identifier (2 chiffres) : format de l'IDI et syntaxe de DSP,
 - . Initial domain identifier : identifie le domaine d'adressage donc l'autorité chargée d'interpréter le champ suivant.
- **Domain specific part** :

Quelques codes du champ AFI :

Adresse X.121 d'ETTD codée en décimal locale (52) ou globale (36), ou binaire locale (53) ou globale (37).

Adresse X.121 d'ETCD codée en décimal (38) ou binaire (39).

Adresse Téléx codée en décimal locale (54) ou globale (40), ou binaire locale (55) ou globale (41)

Adresse téléphonique codée en décimal locale (56) ou globale (42), ou binaire locale (57) ou globale (43)

Adresse RNIS codée en décimal locale (58) ou globale (44), ou binaire locale (59) ou globale (45)

3.2. L'adressage d'Internet

Les adresses du protocole IPv4 : longueur fixe de 32 bits.

Adressage hiérarchique à 2/3 champs :

- (classe,) netid, hostid

3 classes d'adresse **unicast** :

- longueur variable des champs netid et hostid.

	31	24	23	16	15	8	7	0
classe A	0	netid			hostid			
classe B	10	netid			hostid			
classe C	110	netid				hostid		
classe D	1110		multicast					
	11110		reserved					

1 classe d'adresse **multicast** :

- identifie un groupe de stations

Nouvelle version IPv6 :

- longueur des adresses 128 bits !
- adresses "anycast" (+ unicast + multicast)

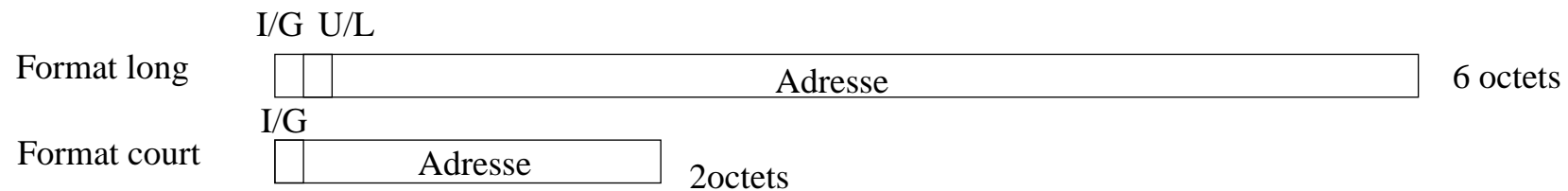
3.3. Adresse IEEE 802

Adresse utilisée par les réseaux locaux (couche Liaison de données !) : norme IEEE 802

- Ethernet, Token Ring, Token Bus, FDDI.

Adressage global !

2 formats :



- bit I/G : adresse individuelle ou de groupe
- bit U/L : adresse universelle ou locale

Adresses réservées

Attribution des adresses (par les constructeurs des cartes) :

- 3 premiers octets : numéro de l'équipementier (exemples : Sun= 080020, 3COM= 02608C)
- 3 derniers octets : numéro de série de la carte

3.4. La gestion du plan d'adressage

Administration de la **structuration variable** des adresses (de **longueur variable**) :

- attribution des adresses (unicité)
- décodage des adresses (efficacité)

Chaque domaine possède une autorité. Chaque autorité connaît :

- les adresses des objets de son domaine
- l'autorité du domaine supérieure dont elle dépend
- les autorités des domaines inférieures (leur identification)
- les ensembles d'adresses qui dépendent de ses sous-autorités

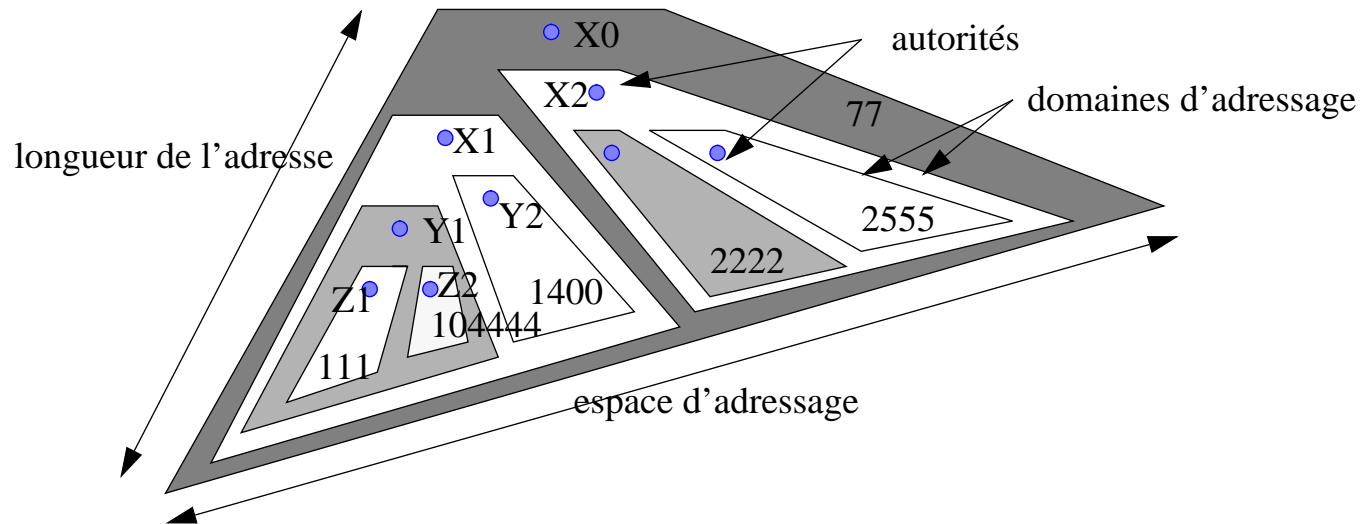
Généralement le décodage est basé sur les préfixes qui identifient de manière unique :

- les sous-domaines
- et les objets du domaine

Chaque autorité délègue la gestion des suffixes aux autorités de ses sous-domaines.

Exemple :

- $x \in \{1.*\} \rightarrow$ autorité X1
 - . $x \in \{1.[0-2].*\} \rightarrow$ autorité Y1
 - . $x \in \{1.[3-9].*\} \rightarrow$ autorité Y2
- $x \in \{2.*\} \rightarrow$ autorité X2
- $x \in \{[3.*- 9.*]\} \rightarrow$ objets du domaine de X0



Autre exemple :

- la numérotation téléphonique !

4. Le routage

□ Fonctionnalité principale de la couche Réseau qui consiste à **déterminer le chemin** qui doit être utilisé par les paquets pour arriver à destination.

Chaque noeud intermédiaire doit choisir vers quel noeud (qualifiés de prochain noeud) il doit envoyer un paquet entrant pour que celui-ci arrive à destination.



En mode datagramme, le choix est effectué indépendamment pour chaque paquet.



En mode circuit virtuel, le choix est fixé à l'établissement de la connexion, et pour toute la durée de la connexion.

Dans chaque noeud, ces choix sont effectués en se servant d'informations contenues dans une **table de routage** qui contient les noeuds suivants utilisables pour atteindre la destination.

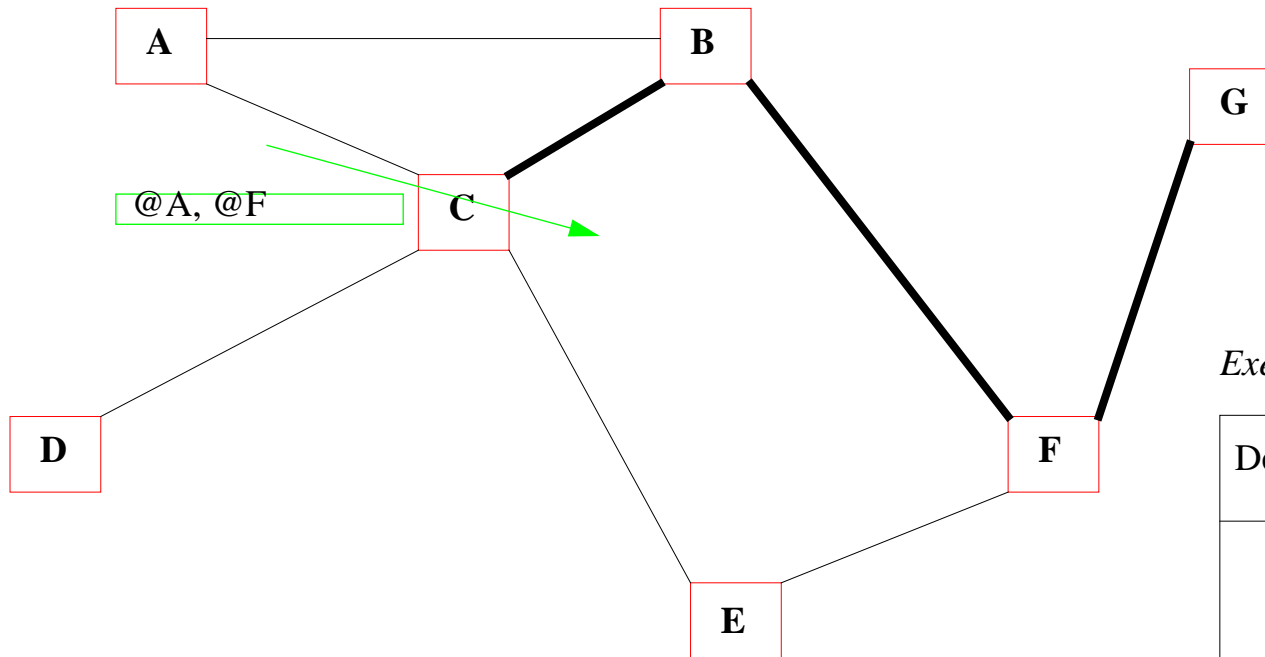
Les entrées d'une table de routage sont renseignées soit statiquement, soit dynamiquement à l'aide d'**algorithme de mise à jour des tables de routage** se basant sur différents critères (débit possible, disponibilité de la ligne, taux d'erreurs, nombre de noeuds intermédiaires,...)

Fonctions d'un routeur :

- **commutation** des paquets ("datagram forwarding"), c-à-d retransmission des paquets.
- **mise à jour** des tables de routage - algorithme de routage.

4.1. La commutation des paquets

Chaque routeur est muni d'une table de routage. Cette table reflète l'état (perçu par le routeur) de la topologie du réseau à un moment donné.



Exemple de topologie de connexion

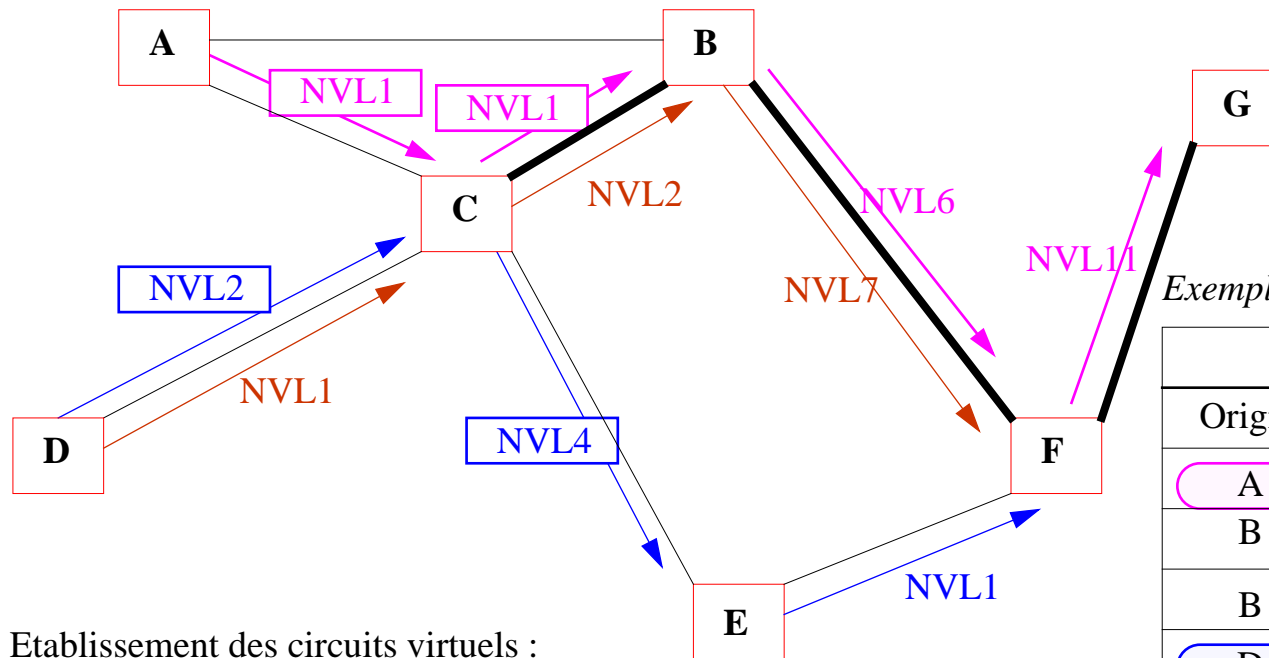
*Exemple de **table de routage** de C*

Destination	Prochains noeuds	Information
G	B	...
	E	...
	A	...
D	D	...
F	B	...
	E	...

4.1.1 Le procédé d'acheminement utilisant un circuit virtuel

Chaque tronçon de CV est identifié par un n° de voie logique (NVL).

Les numéros de VL sont choisis lors de l'établissement de la connexion. Ils sont rendus lors de la libération de la connexion :



Exemple de *table de circuit virtuel* de C

Entrée		Sortie	
Origine	n°VL	Prochain	n°VL
A	1	B	1
B	1	A	1
B	2	D	1
D	1	B	2
D	2	E	4
E	4	D	2

Etablissement des circuits virtuels :

A-G, Chemin choisi : ACBFG, NVL : 1, 1, 6, 11

D-F, chemin choisi : DCBF, NVL : 1, 2, 7

D-F, chemin choisi : DCEF, NVL : 2, 4, 1

4.1.2 Services et procédés d'acheminement

Deux **services** d'acheminement :

- en mode connecté ou en mode non connecté

Deux **procédés** d'acheminement :

- Par circuit virtuel ou par datagramme

□ Le service **non connecté**:

- Les paquets (N-SDU) sont reçus et délivrés par les entités Réseau indépendamment les uns des autres.

☞ Utilise généralement le procédé d'acheminement **par datagramme**,

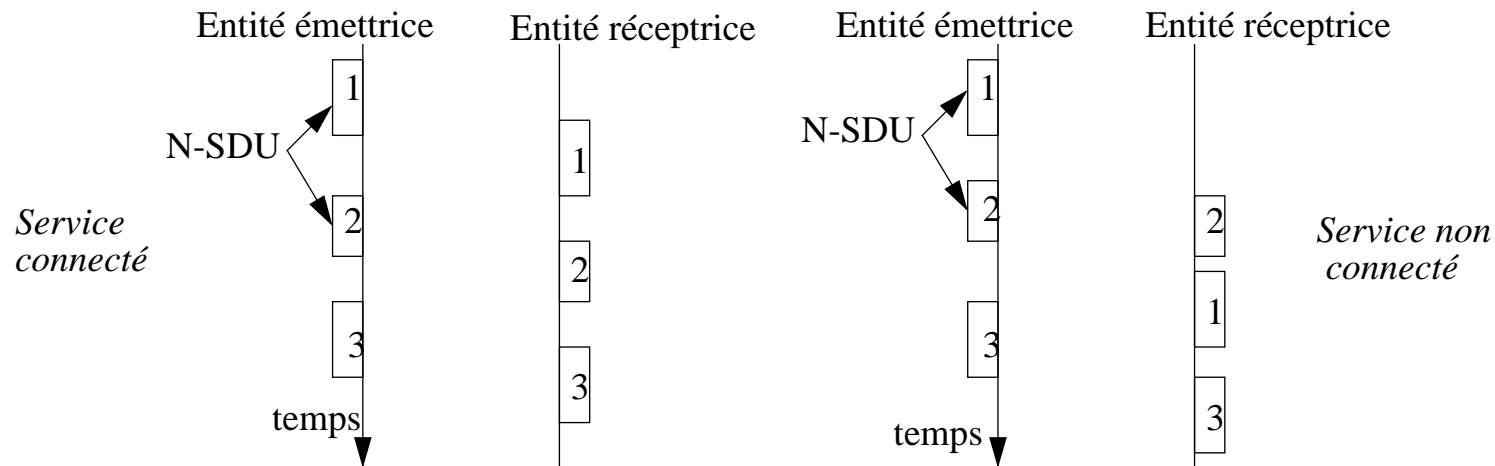
- Généralement peu ou pas service d'augmentation de la fiabilité.
 - . ==> Les service de protection contre les erreurs, de contrôle de flux et le ré-ordonnement des paquets sont éventuellement reportés dans les couches supérieures.

□ Le service **connecté** :

- Les paquets (N-SDU) sont délivrés dans l'ordre où ils ont été reçus par les entités Réseau.

☞ Utilise généralement le procédé d'acheminement **par circuit virtuel**,

- Et généralement, un contrôle de flux et d'erreur y est associé.

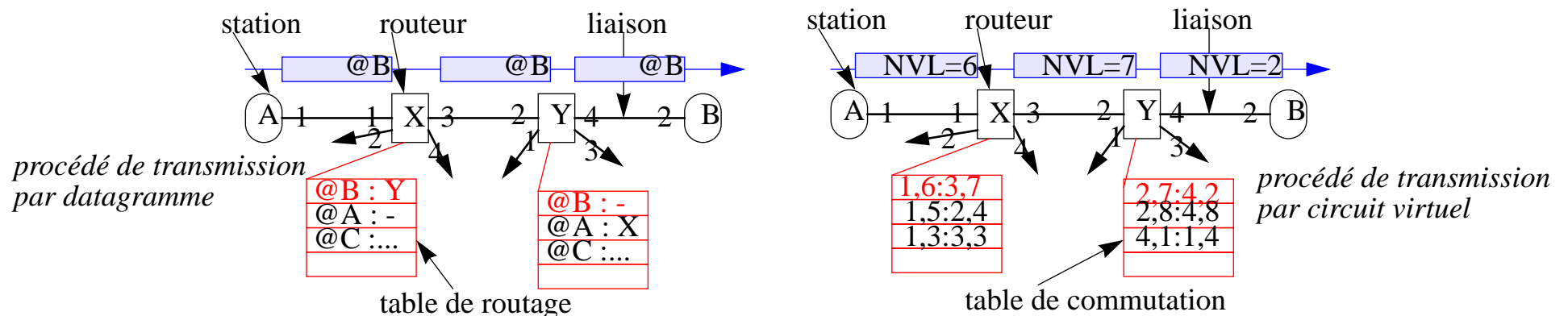


□ Le procédé d'acheminement **par datagramme** :

- Les paquets (N-PDU) sont transmis **indépendamment** les uns des autres au sein du réseau.
- Leur routage (commutation) est effectué grâce à l'**adresse de destination** figurant dans l'entête du paquet,
- Le routage des paquets (entre deux mêmes stations) est adaptatif,
- Généralement, les routeurs effectuent peu ou pas de traitement de contrôle.

□ Le procédé de transmission **par circuit virtuel** :

- Les paquets (N-PDU) sont acheminés **séquentiellement** grâce à une connexion ouverte au sein du réseau.
- Leur routage (commutation) est effectué grâce à un **identificateur de circuit virtuel** figurant dans l'entête du paquet,
- La phase d'établissement de la connexion permet de déterminer le circuit virtuel en réservant les ressources (notamment l'identificateur de circuit virtuel) au sein de chaque routeur,
- Tous les paquets utilisant un circuit virtuel suivent le même chemin,
- Les paquets sont transmis sur ce circuit virtuel dans l'ordre,
- Généralement, un contrôle de flux et d'erreur y est associé.



- Note : une table de routage est nécessaire lors de l'établissement du circuit virtuel !

4.1.3 Comparaison entre circuit virtuel et datagramme et entre adresse et numéro de CV

- Un numéro de CV identifie un tronçon de CV (pour une seule liaison entre 2 systèmes intermédiaires). Le chemin suivi par un CV est identifié par une suite de n° de VL.
- L'identificateur de CV est généralement de plus faible taille qu'une adresse
- La table de commutation (de numéro de circuit virtuel) est plus petite que la table de routage.
- La durée de vie de l'association numéro de VL /Circuit virtuel est celle de la connexion.
- La réservation d'un n° de VL est effectuée localement pour chacune des liaisons formant la connexion. Sinon :
 - . des réservations multiples de n° risqueraient d'apparaître,
 - . la résolution des conflits de numérotation serait complexe et longue.
- Grâce au circuit virtuel :
 - . la commutation est plus rapide,
 - . le contrôle du trafic est aisé,
 - . la taxation est plus facile.

4.1.4 Comparaison des deux types de service de transmission Réseau

Tableau 1 : service en mode connecté ou nonl

<i>Fonctionnalités</i>	<i>Service en mode non connecté</i>	<i>Service en mode connecté</i>
Etablissement/Initialisation	Inutile	Nécessaire
Adresse du destinataire	Dans chaque paquet	Dans le paquet d'initialisation
Séquencement des paquets	Non garanti	Garanti
Contrôle d'erreur/Contrôle de flux	Non fourni, effectués (si besoin) dans les couches supérieures	Fourni, généralement
Possibilité de négociation des options	Non	Oui
Utilisation d'identificateurs de connexion (NVL)	Non	Oui, dans <u>tous</u> les paquets

❑ **Remarque** : La couche Réseau propose les deux types de service à travers 2 protocoles :

- PLP (X25.3),
- CNLP.

4.2. Les paquets errants

Certains paquets peuvent **errer** dans le réseau :

- notamment si le service Réseau est en mode datagramme
- les paquets suivent des chemins indépendants
- le mécanisme de retransmission produit des doubles
- certaines portions du réseau peuvent se trouver isoler du reste :
 - . soit par panne de routeur ou par rupture de liaisons
 - . soit à cause de l'instabilité (vitesse de convergence) des algorithmes de routage
- les routeurs doivent mémoriser les paquets qu'ils ne peuvent temporairement acheminer

Dans ce cas, la **durée de vie** des paquets est volontairement limitée.

Exemple IP :

- chaque datagramme est munie d'un champ spécifique : TTL ("Time to live"),
- initialisé à une certaine valeur : sa durée de vie maximale,
- décrémenté toutes des secondes de résidence dans un routeur et à chaque réception dans un routeur,
- le datagramme est détruit lorsque la valeur devient nulle.

4.3. Les algorithmes de routage

Mise à jour des tables de routage !

❑ Deux classes d'algorithmes de routage :

- algorithmes **non-adaptatifs** (routage statique)

- algorithmes **adaptatifs** (routage dynamique) :

- . automatique

- . s'adapte aux modifications de la topologie et du trafic

❑ Les algorithmes adaptatifs peuvent être :

- **centralisés** :

les tables de routage de tous les noeuds sont calculés dans un seul noeud.

- **répartis** :

les tables de routage sont calculées dans chaque noeud.


❑ Les algorithmes peuvent utilisées des informations :

- **locales** aux noeuds. Exemple : longueur de ses files d'attente.

- **collectées** globalement. Exemple : connaissance de la topologie totale

4.3.1 Propriétés principales d'un algorithme de routage

- ❑ L'exactitude
- ❑ La robustesse
- ❑ La stabilité
- ❑ L'équité
- ❑ L'optimalité
- ❑ La complexité

 Un bon algorithme de routage doit effectuer le meilleur compromis entre ces différents critères.

Les chemins proposés par le routage doivent :

- répondre aux exigences de qualité de chacune des **applications** (débit, délai, taux de perte, etc.)
- et simultanément offrir une utilisation optimale des ressources du **réseau**.

4.4. Procédé de calcul des routes

4.4.1 Le routage multichemin (ou multiple)

- ❑ La notion du plus “court” chemin dépend du **critère** d'évaluation choisi :
 - distance, nombre de noeuds intermédiaires, débit offert, taux d'erreur, délai de transfert, coût financier,...
 - plusieurs tables de routage peuvent être nécessaires pour tenir compte de tous ces critères.
- ❑ Plusieurs chemins peuvent menés au même destinataire :
 - Chaque entrée de la table de routage d'un noeud peut comporter une liste des liaisons possibles (triées par valeur décroissante).

4.4.2 L'algorithmes centralisés de **calcul** du plus court chemin

- algorithme sur les graphes valués positivement [Dijkstra (1959), Moore(1957)],
- algorithme sur les graphes quelconques [Bellman (1958), Ford(1956)],
- algorithme matriciel [Floyd],
- etc.

4.4.3 Quelques algorithmes simples de routage

N'utilise pas de table de routage : nécessite aucune ou peu de connaissance locale et topologique

❑ L'inondation

- simple, robuste, rapide (délai minimum),...
- ... mais risque de congestion et copies multiples.

❑ Routage aléatoire

- sélection aléatoire du (*ou des*) prochains routeurs (*inondation sélective*)
(tous les chemins mènent à Rome !)
- simple,... mais performances variables.

❑ Le “hot potatoes” [Baran, 1964]

- sélection du prochain routeur en fonction de critères locaux :
 - . exemple : la longueur des file d'attente.
 - . optimisation locale (\neq optimisation sur la totalité du chemin).

❑ Le “backward learning”

- apprentissage à travers des informations issues des messages de données précédants.
- durée de vie limitée des informations : nettoyage périodique nécessaire.

4.4.4 Quelques algorithmes de routage

□ “Distance vector algorithm”

Algorithme réparti d'échange d'information **synthétique entre voisins**.

Principe :

- chaque noeud connaît la distance vers tous ses voisins immédiats,
- chaque noeud échange régulièrement avec tous ses voisins ses meilleurs chemins.

Exemple :

- RIP (“Routing information protocol”) d'Internet

Simple, d'étendue limitée, mono-critère.

□ “Link state algorithm”

Algorithme réparti d'échange de l'état de **toutes les liaisons entre tous les noeuds**.

Principe :

- Diffusion de l'état de toutes les liaisons connues,
- Calcul local du (des) meilleur(s) chemin(s).

Exemple :

- OSPF : Open Short Path First (ISO et Internet)

Algorithme générique.

□ Routage hiérarchique

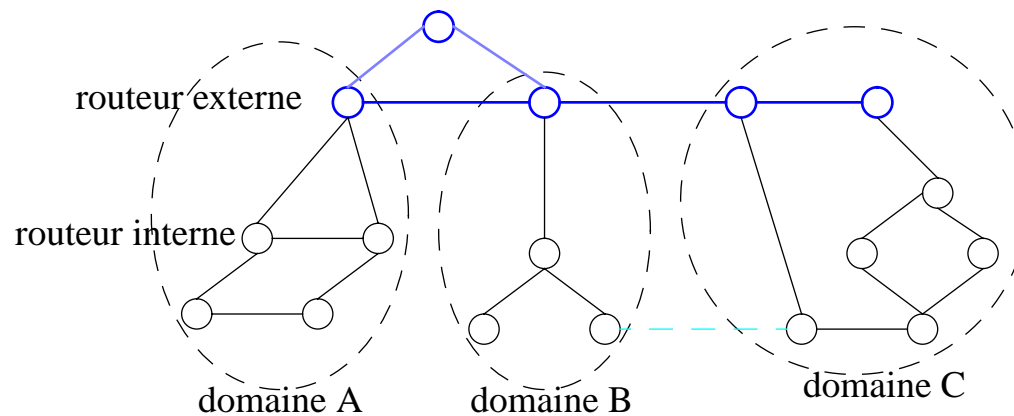
Lorsque la taille du réseau augmente :

- la taille des tables de routage croit
- la complexité de calcul de la table de routage croit
- le nombre de messages de routage échangés croit



Le réseau est structuré hiérarchiquement en différents domaines :

- un nombre restreint de noeuds de chaque domaine assurent l'interconnexion entre domaines



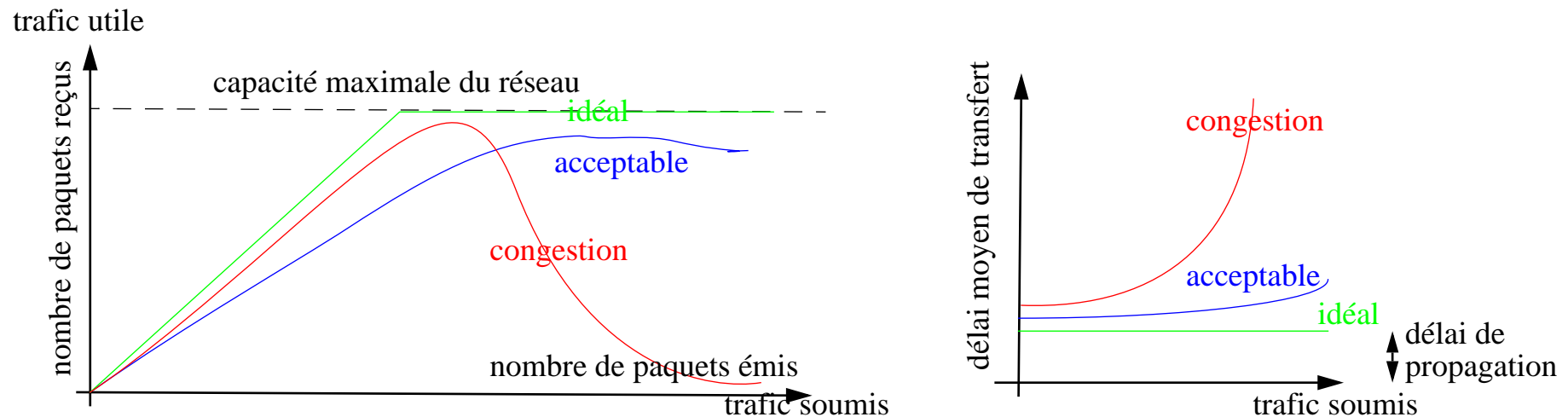
5. Le contrôle de congestion

□ La **congestion**, c'est le phénomène que l'on observe lorsqu'il y a trop de paquets présents dans le réseau.

Accumulation de paquets en attente d'émission dans les noeuds du réseau,

==> Retransmission des paquets : considérés à tort ou non comme perdus !

. ==> Augmentation du trafic, et dégradation des performances.



Deux types de solution : la **prévention** (ou anticipation) ou la **régulation** (a posteriori).

Attention : le problème de contrôle de congestion est à différencier du problème de contrôle de flux.

5.1. La préallocation de l'espace de mémorisation

- Utilisable uniquement dans le cas d'une connexion.
- Efficace mais monopolisation inutile de ressources.

5.2. Le contrôle de congestion isarithmique

- Conservation d'un nombre constant de paquets en circulation dans le réseau par utilisation de **jetons**.
- Mauvaise répartition des jetons en fonction de la charge.

5.3. Rétro-contrôle

- Chaque noeud surveille le taux d'utilisation de ses lignes de sortie et envoie des **paquets d'engorgement** vers les noeuds émetteurs de paquets devant être acheminés sur les lignes de sortie chargées.
- Délai de réaction

5.4. Priorité/destruction des paquets

- Nécessité de définir des **critères** pour choisir les paquets à détruire ou à acheminer en priorité.
- En dernier ressort !

6. Etude du protocole PLP

6.1. Présentation

□ “Packet Layer Protocol”

6.1.1 Normalisation (1974)

En mode connecté.

- protocole normalisé par le CCITT X.25 (ISO 8208)
- “Network service definition” X.213 (ISO 8348)

Mais il existe une variante en mode non connecté :

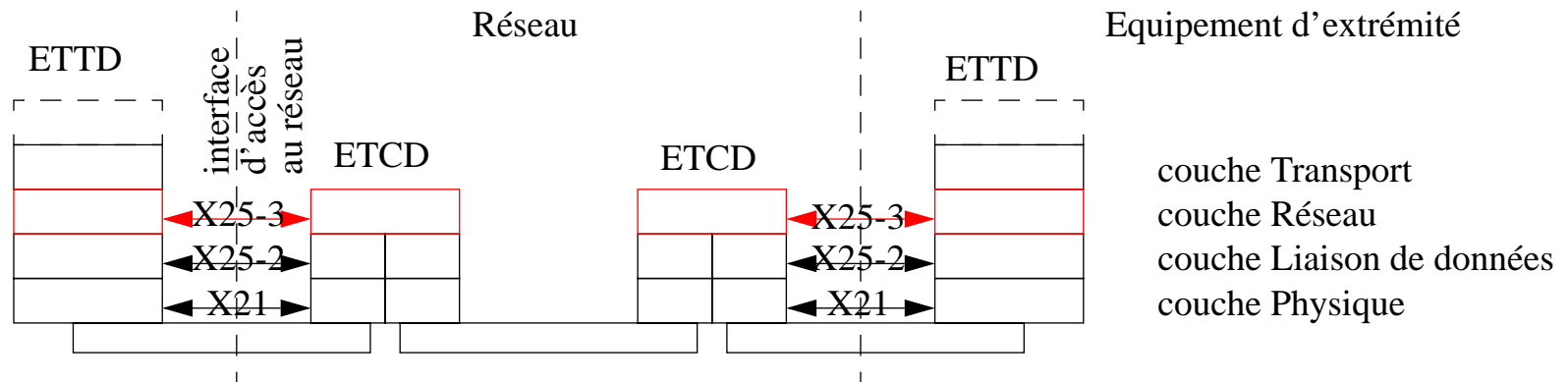
- CNLP : “Connectionless-mode network protocol” et service (ISO 8473, 9068)
- similaire à IP.

Adaptation pour la transmission de caractères alphanumériques (historique) :

- assure la compatibilité
- PAD : “Packet assembler/desassembler”
- normes CCITT X.3, X.28, X.29

En fait, la norme X25 définit les protocoles des 3 premiers niveaux :

- X25.1 : Physique (X.21)
- X25.2 : Liaison de données (HDLC : LAP-B)
- **☞ X25.3 (PLP)**



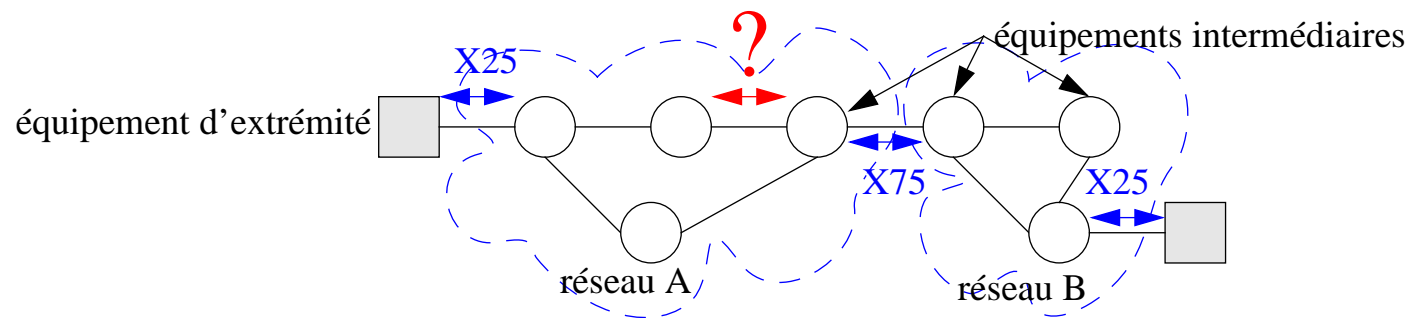
6.1.2 Fonctions

C'est un **protocole d'accès** au réseau

- Entre un équipement d'extrémité (système hôte) et un équipement d'interconnexion (systèmes intermédiaires - routeurs).
- Il n'est pas forcément utilisé comme protocole d'échange des données au sein du réseau (entre équipements d'interconnexion).
 - . Ce serait imperceptible aux utilisateurs et donc c'est hors du champ de la normalisation.
 - . Mais par économie d'échelle, il est très souvent utilisé à l'intérieur du réseau.
 - . Exemple : Transpac.

En fait le même problème se pose entre réseaux de deux opérateurs :

- Définition d'un protocole d'interconnexion : X.75 (X.25 like)



6.1.3 Les circuits virtuels

□ Deux types de connexion possibles :

■ **circuit virtuel permanent** (PVC : “Permanent Virtual Circuit:”) :

- le circuit virtuel est toujours disponible : fonctionne comme une ligne spécialisée (louée/réservée). La connexion est établie en permanence !
- l'équipement d'extrémité n'a pas à implémenter les phases d'établissement et de rupture de la connexion (c-à-d le processus de signalisation ou de commande) :
 - . facilite la transition
 - . gain de temps
 - . sécurité ?

■ **circuit virtuel** (VC Virtual Circuit) :

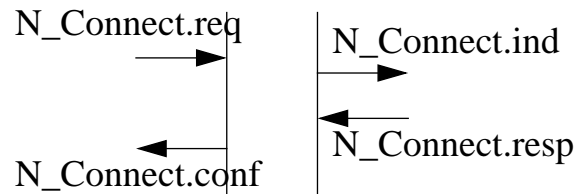
- c'est le fonctionnement normal
- en trois phases : établissement de la connexion, transfert de données, libération de la connexion.

6.2. Le service

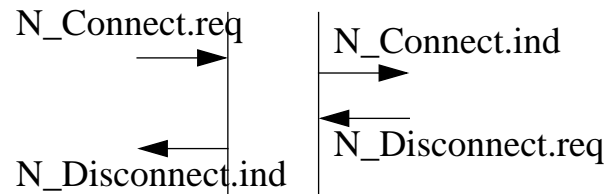
□ Mode connecté :

N_Connect.req(@ appelé, @ appelant, opt_conf_recept, opt_données_exprès, qos, données)
 N_Connect.ind(@ appelé, @ appelant, opt_conf_recept, opt_données_exprès, qos, données)
 N_Connect.resp(@ répondeur, opt_conf_recept, opt_données_exprès, qos, données)
 N_Connect.conf(@ répondeur, opt_conf_recept, opt_données_exprès, qos, données)
 N_Disconnect.req(raison, données, @ répondeur)
 N_Disconnect.ind(origine, raison, données, @ répondeur)
 N_Data.req(données, conf_demandée)
 N_Data.ind(données, conf_demandée)
 N_Data_ack.req()
 N_Data_ack.req()
 N-Exp_data.req(données)
 N-Exp_data.ind(données)
 N_Reset.req(raison)
 N_Reset.ind(origine, raison)
 N_Reset.resp()
 N_Reset.conf()

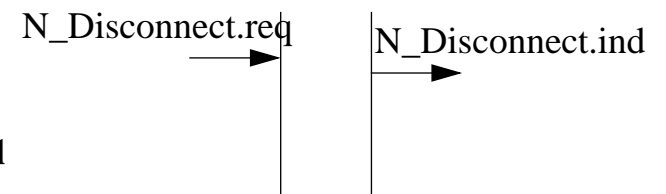
❑ Quelques enchaînements de primitives



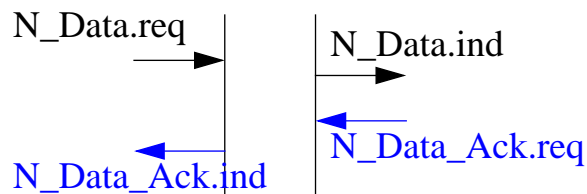
Etablissement d'une connexion



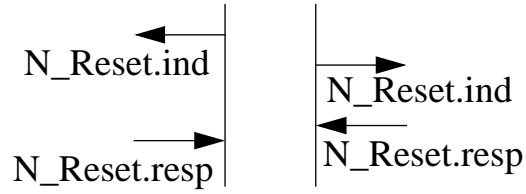
Refus d'établissement d'une connexion



Libération d'une connexion



Transfert de données



Réinitialisation de la connexion

❑ Mode non connecté

N_UniData.req(@ appelé, @ appelant, qos, données)

N_UniData.ind(@ appelé, @ appelant, qos, données)

N_Facility.req(qos)

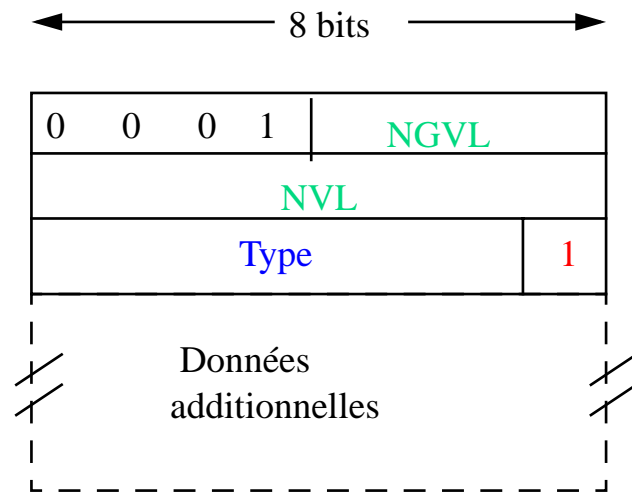
N_Facility.ind(origine, qos, raison)

N_Report.ind(origine, qos, raison)

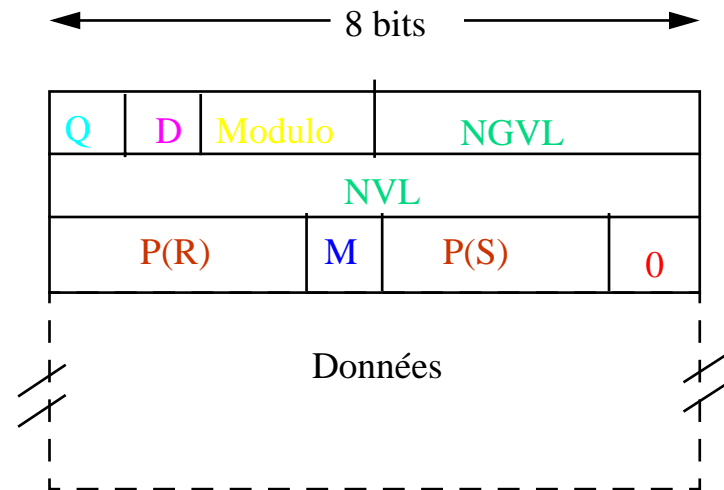
6.3. Les différents types de paquets

6.3.1 Le format général des paquets

- Paquets de données
- Paquets de contrôle



Format général des paquets de contrôle



Format général des paquets de données

□ Multiplexage :

- NVL : numéro de voie logique (= tronçon de circuit virtuel)
- NGVL : numéro de groupe de voies logiques

6.3.2 Le paquet de données

Le bit **Q** (“Qualified data”) :

- 1 : données de contrôle (ex: PAD)
- 0 : données issues des entités des couches supérieures

Le bit **D** (“Delivery”):

- 1 : contrôle de flux de bout en bout
- 0 : contrôle de flux local (“back pressure”)

Le champ **Modulo** :

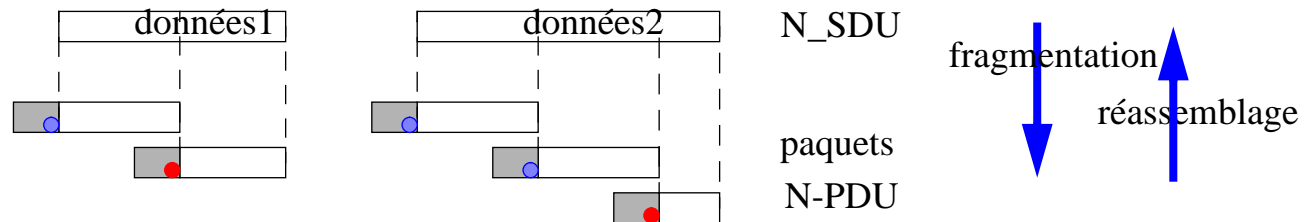
- dimension des champs de numérotation : P(S) et P(R),
- 01 : modulo 8 (entête de 3 octets) - format normal de paquet
- 11 : modulo 128 (entête de 4 octets) - format étendu de paquet

Les champs **P(S)** et **P(R)** :

- compteurs de la fenêtre coulissante utilisée par le protocole pour effectuer le contrôle de flux et le contrôle d’erreur
- P(S) : numéro du paquet (=N(S))
- P(R) : numéro du prochain paquet attendu et acquittement (=N(R))

Le bit **M** (“More”):

- **1** : ce paquet est le dernier fragment du N_SDU
- **0** : ce paquet est un fragment intermédiaire du N_SDU

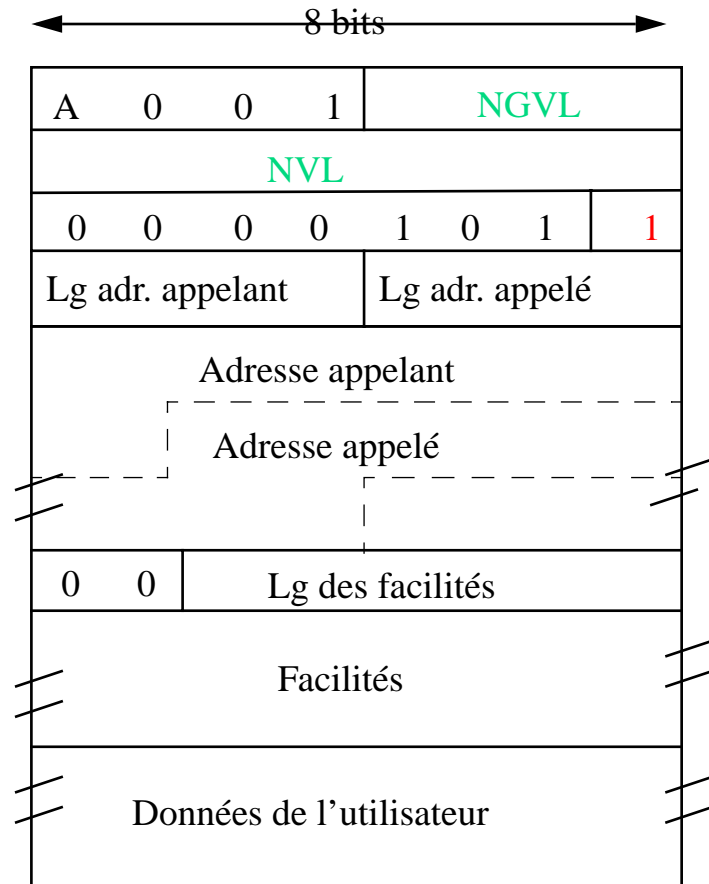


- La fragmentation est couteuse : on préfère l’éviter et ne l’avoir qu’en frontière de réseau, si possible !

Le **champ de données** :

- longueur variable...
- mais bornée par la longueur maximale du paquet :
 - . négociée parmi les valeurs [16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4095],
 - . par défaut 128 octets.

6.3.3 Les paquets de contrôle



Format du paquet d'appel (CALL REQUEST)

Type de paquet	"type code"
CALL REQUEST (APP)	00001011
CALL ACCEPTED (COM)	00001111
RECEIVE READY (RR)	P(R)00001
RECEIVE NOT READY (RNR)	P(R)00101
REJECT (REJ)	P(R)01001
CLEAR REQUEST (LIB)	00010011
CLEAR CONFIRM (CONF)	00010111
INTERRUPT	00100011
INTERRUPT CONFIRM	00100111
RESET REQUEST	00011011
RESET CONFIRM	00011111
RESTART REQUEST	11111101
RESTART CONFIRM	11111111
DIAGNOSTIC	11110001

Les paquets de contrôle

□ Le paquet d'appel

Etablit le circuit virtuel :

- associe dans chaque routeur les adresses de l'appelant et de l'appelé avec le NGVL+NVL
- négocie les services complémentaires au travers des champs des facilités

Le bit **A** ("Address"), le type d'adresse utilisée :

- 1 : TOA+NPI address = "Type Of Address+Numbering Plan Identification+Address value"
- 0 : adresse X.121

Les **adresses** peuvent être de taille variable :

- l'unité longueur est le demi-mot
- les longueurs peuvent être différentes entre appelant et appelé !

Le champ **Facilités** :

- taille maximum du paquet [16-4096 bits], largeur de la fenêtre [2-127 paquets], débit [75-64Kbit/s], etc.

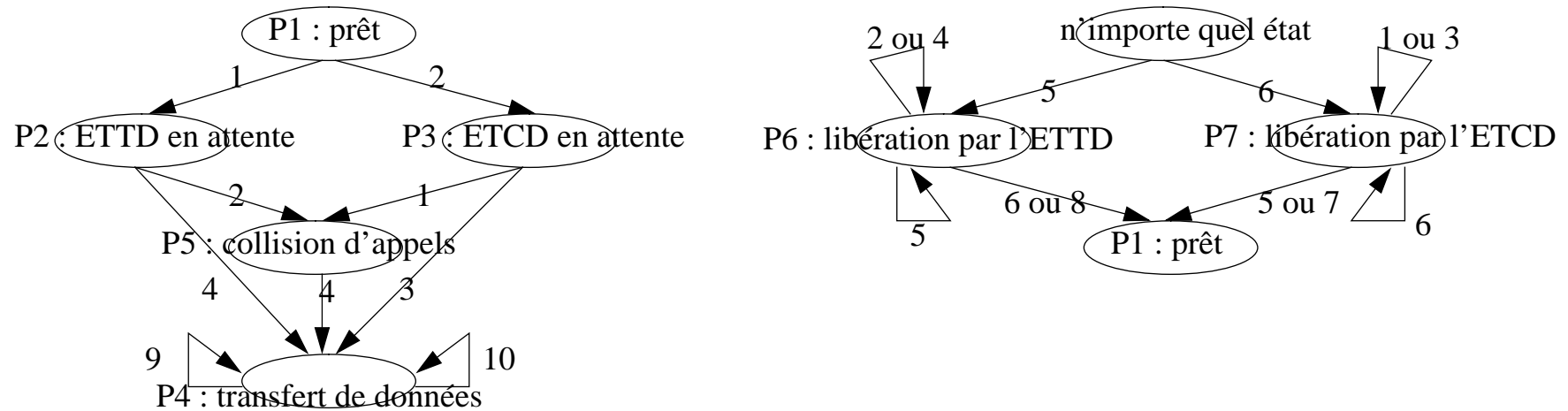
Le champ **Données** :

- données transmises lors de l'établissement de la connexion ("Fast select facility")
- jusqu'à 128 octets

6.4. Le protocole PLP

6.4.1 Spécification

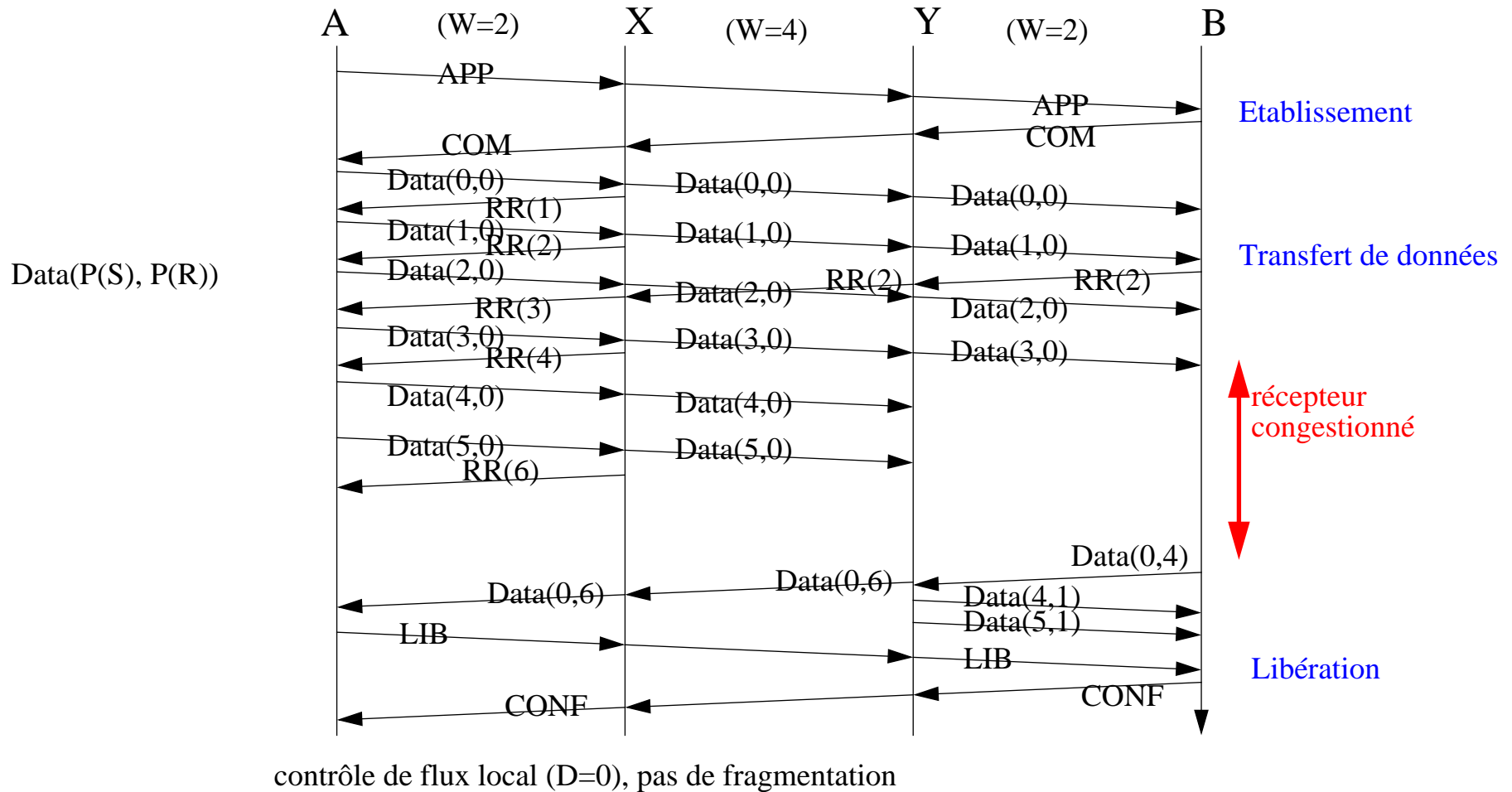
Extrait de l'automate décrivant le protocole :



- Paquet d'appel [**APP**] sortant (1: ETTD-> ETCD) ou entrant (2: ETCD->ETTD)
- Paquet de communication [**COM**] acceptée (3: ETTD-> ETCD) ou établie (4: ETCD->ETTD)
- Paquet de libération [**LIB**] demandée (5 : ETTD-> ETCD) ou indiquée (6: ETCD->ETTD)
- Paquet de confirmation de libération [**CONF**] (7 : ETTD-> ETCD) ou (8: ETCD->ETTD)
- Paquet de données [**DATA**] (9 : ETTD-> ETCD) ou (10: ETCD->ETTD)

6.4.2 Exemple de scénario de transfert de données

Etablissement de la connexion, transfert de données et libération de la connexion :



7. Conclusion

Les fonctions essentielles de la couche Réseau sont :

- la **segmentation**, l'**adressage**, le **contrôle de flux** et le **routage**.

Le protocole **X25** est un protocole d'accès au réseau...

- ... mais il peut être utilisé entre équipements intermédiaires.
- Il utilise une technique de commutation utilisant un **circuit virtuel** adapté au mode connecté.
- Il reprend le mécanisme de la **fenêtre coulissante** :
 - . contrôle de flux (et contrôle d'erreur).

D'autres services et protocoles existent :

- IP ou CNLP : leur service est non connecté, ils utilisent un procédé de transmission de type datagramme !

Les algorithmes de routage (mise à jour des tables de routage) sont déterminants pour de bonnes performances de transmission et une bonne utilisation du réseau.

La diffusion de données, la mobilité, la sécurité et le respect de la Qos sont les services qui devraient se développer dans le futur.