

Le réseau téléphonique public commuté (PSTN)

Généralités (Ed. 2.4.: 9/01)

1. Introduction.

2. Organisation du réseau.

- 2.1. Le réseau local.
- 2.2. Le réseau dorsal ("backbone").

3. Le poste téléphonique.

4. La communication téléphonique.

Annexe 1 : systèmes à gains de paire.

Annexe 2 : routage et acheminement

PUBLIC NETWORK	PSTN	Ed. 02.4	09/01	Page 1
----------------	------	----------	-------	--------

Le réseau téléphonique public commuté: généralités

(Edition 2 : 09/97 ; Rev2.3 : 9/00)

1. Introduction.

Le réseau téléphonique public, PSTN ("Public Switched Telephone Network") ou RTPC (Réseau Téléphonique Public Commuté) constitue un des plus grands réseaux au monde avec quelques centaines de millions d'abonnés (environ 6 millions de lignes en Belgique, fin 2000).

Essentiellement analogique au départ, le réseau s'est progressivement numérisé : la transmission dans le réseau d'abord, suivie par la commutation ensuite. La dernière partie à être numérisée reste la partie locale, c'est-à-dire la connexion de l'abonné au réseau : c'est un des objectifs du RNIS. La numérisation permet, outre le transport de la voix, le transport des données mais en mode commutation de circuits 64 kbit/s, ce qui constitue une limitation pour certains types de trafics de données (et a donné naissance au réseau large-bande basé sur la commutation de paquets, e.g. ATM, et à des capacités en débits plus importantes que 64kbit/s dans la partie locale, e.g. : ADSL). Le réseau PSTN assure aussi des fonctions d'accès à d'autres réseaux, ou services comme par exemple au réseau à commutation de paquets, à Internet, au GSM,....

2. Organisation du réseau actuel.

2.1. Le réseau local [voir fig. 1.A]

- L'abonné dispose d'un poste téléphonique ou d'une installation téléphonique plus complexe connecté à un commutateur via une ligne d'abonné : cette liaison est en général une simple paire de fils de cuivre, avec un diamètre de l'ordre de 0,4 à 0,6 mm, appelé aussi « boucle locale » (« local loop »), cas de la plupart des abonnés résidentiels, mais peut être plus sophistiquée [par. ex. coaxial ou fibre optique (FO) pour des systèmes 2 Mbit/s ou plus pour des abonnés professionnels].
- Le commutateur de rattachement est appelé commutateur d'abonnés ou commutateur local (« local switch », « local exchange : LEX ») et est situé dans un bâtiment (CO = "Central Office" ou "Local Centre", souvent simplifié en « central », souvent confondu avec le commutateur !). Le réseau de rattachement qui donne l'accès au PSTN est aussi appelé le réseau local. Un CO peut héberger plusieurs commutateurs et bien d'autres équipements comme on le verra ci-après (transmission, alimentation, ...)
- La paire d'abonné aboutit sur un répartiteur d'abonnés (MDF = « Main Distribution Frame ») sur 1 côté, dit le côté vertical; l'autre, le côté horizontal, est connecté à un équipement d'abonné, appelé aussi circuit d'abonné, dans le commutateur local. Les côtés vertical et horizontal du répartiteur sont réunis par des fils appelés "jarretière" ("jumper") qui permettent en fait d'associer une paire physique avec un équipement d'abonné. (voir fig. 1.B.). Les accès côté vertical sont plus nombreux que les accès côté horizontal (on peut avoir un rapport 2/1, ceci étant la conséquence du taux d'occupation : on pose en effet des câbles avec une période d'investissement relativement longue ce qui pénalise l'occupation tandis que du côté commutateur on peut envisager jusqu'à une allocation JIT ("Just In Time") des cartes d'équipement.

PUBLIC NETWORK	PSTN	Ed. 02.4	09/01	Page 2
----------------	------	----------	-------	--------

- Dans le commutateur local, chaque circuit d'abonné est identifié par un n° d'équipement EN ("Equipment Number") propre au commutateur (c'est une sorte de "variable locale"). Le commutateur associe ce n° d'équipement à un numéro d'appel téléphonique **DN ("Directory Number")** (qu'on peut considérer comme une variable "globale" valable pour le réseau)[voir plan de numérotage dans le *module commutation*]. On notera aussi que les 2 associations paire/EN et EN/DN permettent la portabilité locale du numéro (i.e. on peut déménager et conserver le même numéro) dans l'aire d'un réseau local. Une des principales fonctions de la carte d'abonné pour un commutateur numérique est de convertir le signal analogique de la voix en un signal numérique 64 kbit/s.
- Structurellement, le réseau local traditionnel se subdivise en **réseau d'alimentation** et en **réseau de distribution** (voir fig. 1C). Le réseau d'alimentation comporte des câbles à capacité élevée, quelques centaines voire des milliers de paires, qui rayonnent à partir du bureau local et constituent les voies d'alimentation. Sur ces voies sont connectées les bornes de répartition ("street distribution cabinet") d'où partent les câbles de distribution vers les clients. L'aire de service d'une borne comporte en moyenne de l'ordre de 200 abonnés ; la distance moyenne de raccordement est de l'ordre d'une centaine de mètres; les paires d'abonnés ("drop") sont directement jointées sur le câble de distribution. Une borne de répartition est aussi dotée d'un mini-répartiteur qui permet de relier les paires amont avec les paires aval . Un autre point d'accès possible dans la distribution est le bac placé dans le trottoir ("footway box") et dans certains pays on trouve évidemment aussi une partie aérienne (voir fig 1.D). A noter enfin que les abonnés situés à proximité du bureau local sont directement connectés sur celui-ci.
Pour limiter l'investissement et tenant compte que l'affaiblissement augmente avec la distance, on réalise l'alimentation (et les connexions des abonnés proches) avec du câble de plus petit diamètre (e.g. 0,4 mm) et on augmente le diamètre dans la distribution (0,5-0,6 mm). Pour des abonnés éloignés , on peut aller jusqu'à 1mm dans la dernière section. Toutes ces règles qui ont été conçues uniquement dans la perspective de la téléphonie il y a quelques décades ont évidemment un impact considérable pour des techniques actuelles comme ADSL qui doivent faire passer un débit de plusieurs Mbit/s sur le réseau local.
- Le répartiteur et les bornes de répartition constituent des **points de flexibilité**.
- La topologie est donc essentiellement arborescente.
- En ce qui concerne la voie d'alimentation par contre, les longueurs de raccordement en Belgique sont particulièrement importantes: un abonné d'un réseau local est en moyenne distant de 4 Km du CO ; dans certains cas extrêmes, cette distance atteint 10 Km. A partir de 92, un point de flexibilité intermédiaire (LDC : "Local Distribution Centre") (fig 1.E.)a été créé de manière à permettre l'introduction progressive de FO dans le réseau local ce qui permet d'éviter de nouvelles extensions (sans avenir) en Cu et de pouvoir envisager le déploiement de futurs services "large-bande".(voir évolution du réseau d'accès dans le module évolution du réseau d'accès). Les abonnés sont situés en général à moins de 1,5 km de ces points.
- Le réseau local a longtemps été construit de manière rigide avec du Cu et des prévisions de capacité à très long terme (e.g. 10 ans pour l'alimentation, 30 ans pour la distribution) pour limiter les coûts des poses. Bien qu'essentiellement passif (i.e. pas d'électronique entre l'abonné et le commutateur), pour réaliser des économies dans certains cas spécifiques ou pour pallier des pénuries, on installe des systèmes électroniques actifs comme les **systèmes dits à gains de paire**, càd des **multiplexeurs** ou des **concentrateurs**, qui permettent de transporter plusieurs communications téléphoniques sur un système de transmission numérique (le plus souvent des systèmes PCM 2 Mbit/s, sur 2 paires bien sélectionnées avec l'inconvénient dans ce cas de devoir placer des répéteurs/régénérateurs sur des distances relativement courtes. De nouvelles technologies comme le xDSL permettent de relaxer ces contraintes).

PUBLIC NETWORK	PSTN	Ed. 02.4	09/01	Page 3
----------------	------	----------	-------	--------

- De tels systèmes sont également utilisés pour connecter les équipements d'abos professionnels (e.g. PABX avec des faisceaux de 2 Mbit/s , circuits loués numériques à haut débit , ...).
- Pour des entreprises avec des besoins en gros débits ou des parcs industriels, la tendance est de poser des boucles en F.O. (concept de "télézone").

2.2. Le réseau dorsal ("backbone") [voir fig. 2].

Au point de vue commutation (voir fig 3)

Les commutateurs sont fonctionnellement de 2 types :

1. les **commutateurs locaux** ou d'abonnés au niveau inférieur

2. les **commutateurs de transit** qui permettent d'établir des connexions entre des commutateurs qui n'ont pas de liaison directe entre eux.

Note : physiquement, un commutateur peut supporter ces 2 fonctions.; on parle parfois dans ce cas de "combiné".

- les commutateurs locaux desservent les abonnés qui font partie d'une aire géographique appelée le réseau local ; ils constituent le niveau bas de la hiérarchie . On distingue d'une part les **BU** ("Base Unit") qui sont les commutateurs locaux **autonomes** : ils contiennent les bases de données relatives aux abonnés et à leurs services et peuvent être raccordés sur tous les autres commutateurs du réseau et d'autre part les **RU** ("Remote Unit") qui concentrent le trafic des abonnés et dépendent d'un BU. Avec la numérisation du réseau, la tendance est à la réduction du nombre de BU's . D'autre part, des RU's sont également utilisés pour desservir des abonnés dans des points de flexibilité intermédiaires comme les LDC's. Comme on l'a vu au point 2.1., les lignes téléphoniques sont raccordées au commutateur via des circuits de ligne pour les lignes simples. Pour des installations plus complexes comme les PABX ou les concentrateurs, l'accès se fait en 2 Mbit/s (E1).
- les commutateurs locaux sont rattachés à des commutateurs de transit appelés centres de zone (CZ) qui constituent le 1er niveau de transit. L'aire géographique desservie par l'ensemble de ces commutateurs définit une zone géographique (en association avec le plan de numérotage) et le réseau national PSTN de Belgacom en compte 40.
- à un niveau supérieur dans la hiérarchie, on trouve les commutateurs de transit nationaux et les commutateurs de transit qui assurent l'interconnexion avec des réseaux internationaux : les centres internationaux i.e. les ISC (« International Switching Center » = centres internationaux) et l'interconnexion avec les autres opérateurs nationaux (fixes ou mobiles) : les AGE's (« Access Gateway Exchange »). Les mêmes commutateurs de transit assurent à la fois les fonctions de transit national et aussi d' AGE.
- à titre de comparaison, on trouvera Fig. 4, la hiérarchie de commutation du réseau américain.
- Note : le réseau PSTN/ISDN de Belgacom comportait fin 94 environ :
 - 500 à 600 commutateurs locaux dont 400 numériques.
 - une centaine de commutateurs centres de zone ou de transit
 - 4 commutateurs internationaux numériques.

Fin 2000, on renouvelait le dernier commutateur analogique et le réseau sera structuré en fonction de 2 tendances qui se retrouvent dans tous les pays : la réduction du nombre de commutateurs : 200 à 300) et une hiérarchie « plate » à 2 niveaux (1 niveau local et un seul niveau de transit).

PUBLIC NETWORK	PSTN	Ed. 02.4	09/01	Page 4
----------------	------	----------	-------	--------

Au point de vue transmission.

- Le réseau de transmission relie entre eux les différents commutateurs et fournit donc les ressources (milieu, systèmes) pour transporter les appels entre les commutateurs.
- Dans le CO, on trouve un **centre de transmission** qui est relié à un ou plusieurs autres centres de transmission distants par des liaisons et des systèmes et permet donc d'écouler le trafic dans le réseau. Les circuits d'entrées/sorties des commutateurs constituent ce qu'on appelle les « trunks » et pour un commutateur numérique sont assemblés en module de 2 Mbit/s (E1). Pour écouler le trafic entre 2 commutateurs, il faudra « relier » l'ensemble de ces modules (appelé « trunk group » ; ce point sera décrit dans *le module sur la "Commutation de Circuits"* et est ici un peu simplifié) entre eux et c'est le rôle du réseau de transmission de fournir la capacité de transport nécessaire. Entre le centre de transmission et le commutateur, on utilise aussi un répartiteur, dit répartiteur de transmission, qui joue le même rôle que le répartiteur d'abonnés (i.e. point de flexibilité) mais avec des coaxiaux et des systèmes E1's. Les centres de transmission des CO's utilisent pour leur liaisons et suivant les besoins différents milieux de transmission (coax, FO,...) et différents systèmes (PDH, SDH,...) au moyen desquels ils vont multiplexer/démultiplexer les E1's pour les transporter ; par exemple plusieurs E1's qui écoulent le trafic entre 2 commutateurs peuvent être multiplexés dans un multiplex SDH à 155 Mbit/s ou dans un multiplex PDH à 34 Mbit/s (voir détails dans le module de transmission). Enfin, il faut faire remarquer que la transmission agit non seulement comme un transporteur pour les E1's entre les commutateurs mais aussi pour d'autres « clients » : les circuits loués (« leased lines ») et bien entendu le transport entre noeuds d'autres technologies, e.g. commutateurs ATM, routeurs,...(voir fig. 1.A).
- Entre les commutateurs locaux et les CZ, on parle de circuits de "jonctions" et le réseau ainsi constitué s'appelle le réseau zonal (régional). Ce réseau est à topologie étoilée dans les petites zones et relativement maillée dans les grandes zones. Entre les CZ, les centres de transit nationaux et les centres internationaux, les ressources de transmission constituent le réseau national ou interurbain.
- Le réseau zonal et national sont de plus en plus intégrés pour former le réseau **dorsal (= « backbone »)**. Avec l'émergence du SDH, la topologie évolue d'un réseau maillé/étoilé vers un réseau à anneaux ("rings").
- Entre les centres internationaux belges et étrangers, le réseau est appelé le réseau international.

Le réseau logique et le réseau physique.

Le réseau physique est le réseau de transmission constitué par les noeuds de transmission (i.e. les centres de transmission) et les liaisons de transmission qui les relient. Le réseau logique ou fonctionnel est constitué par les noeuds du service téléphonique (càd les commutateurs) et les faisceaux de circuits qui les relient. Le chemin suivi par les circuits dans le réseau physique est appelé routage ("**transmission routing**") tandis que le chemin suivi par le trafic dans le réseau logique est appelé acheminement ("**traffic routing**"). (pour plus de détails, voir Annexe 2).

3. Le poste téléphonique .

1. Un poste téléphonique est un terminal très simple : à l'émission un microphone convertit la parole en signal électrique ; à la réception, un écouteur convertit le signal électrique en paroles.
2. La signalisation sur la ligne d'abonné "analogique".

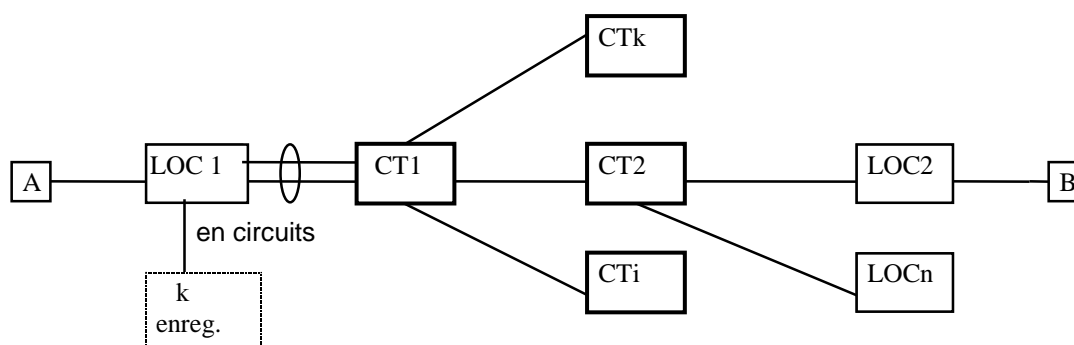
PUBLIC NETWORK	PSTN	Ed. 02.4	09/01	Page 5
----------------	------	----------	-------	--------

- 2.1 au moment où l'on décroche ["off-hook"], on ferme la boucle de la ligne locale [l'alimentation - 48 V se fait à partir du commutateur local : téléphone à batterie centrale]. Le courant d'alimentation est de l'ordre de 25 à 35 mA.
- 2.2. la numérotation est réalisée soit via un poste à disque, soit via un poste à clavier :
 - avec le poste à disque, on ouvre et ferme la boucle [voir fig 5]: signalisation à impulsion;
 - avec le poste à clavier, chaque chiffre est codé au moyen d'une combinaison de 2 fréquences : DTMF ("Dual Tone Multi Frequency") (voir fig. 6); 16 combinaisons sont possibles. Cette technique est plus rapide mais nécessite des récepteurs de signalisation dans le commutateur.
- 2.3. le circuit de sonnerie qui est activé par un signal de l'ordre de 100 V/50Hz.

4. La communication téléphonique.

L'appel téléphonique s'établit de la manière suivante (l'exemple qui suit est simplifié ; ces points seront traités avec plus de détails dans *le module sur la "Commutation de Circuits".*)

Considérons l'appel de A vers B au travers du commutateur local LOC1, des centres de transit CT1 et CT2, et du commutateur local LOC2.



Les différentes phases de l'appel sont les suivantes :

1) décrochage.

L'appelant A décroche. La boucle locale est fermée. Le commutateur local de rattachement LOC 1 qui supervise la ligne détecte le décrochage.

2) présélection.

LOC1 va rechercher un enregistreur dans un pool pour lui permettre de recevoir le numéro envoyé par A . Il y a beaucoup moins d'enregistreurs que de lignes locales attachées au commutateur (concentration) : le dimensionnement est lié au trafic. Si un enregistreur est libre, A reçoit la tonalité d'invitation à numéroté ("dial-tone").

3) enregistrement et analyse.

LOC1 enregistre les chiffres émis par A et les analyse (traduction). L'analyse a 2 fonctions :
A. déterminer la **taxation**.

PUBLIC NETWORK	PSTN	Ed. 02.4	09/01	Page 6
----------------	------	----------	-------	--------

B. déterminer la route qui doit être prise par l'appel : l'**acheminement** ("traffic routing").

4) sélection et acheminement.

Ayant déterminé que l'appel doit être établi vers le commutateur de transit CT1, LOC1 va essayer de prendre un circuit sortant libre dans un ensemble de circuits disponibles entre LOC1 et CT1 (appelé faisceau de circuits : "circuit group") ; à nouveau, il y a un effet de concentration (ie le nombre de circuits disponibles est dimensionné en fonction du trafic écoulé entre LOC1 et CT1).

A l'intérieur du commutateur, LOC1 va aussi devoir trouver un chemin reliant la ligne de A avec le circuit sortant choisi (sélection); à nouveau, il y a un effet de concentration.

5) établissement de l'appel à travers le réseau.

LOC1 va devoir dialoguer avec CT1 pour lui signaler le circuit choisi, lui transmettre le numéro de B,... ; l'ensemble des signaux échangés et leur protocole constituent la **signalisation dans le réseau** et ce point sera traité dans le module du même nom. CT1 analyse le numéro de B, en détermine l'acheminement vers CT2 et prend un circuit libre vers CT2. Le processus continue de même entre CT2 et LOC2

6) arrivée.

LOC2 reconnaît B comme un de ses abonnés et connecte le circuit venant de CT2 vers la ligne d'abonné de B, achevant ainsi la mise en place d'un circuit de bout-en-bout entre A et B : l'ensemble des opérations exécutées jusqu'à présent constitue la **phase d'établissement d'appel (le "call set-up")** . LOC2 envoie le courant de sonnerie sur la ligne d'abonné de B et émet en arrière une tonalité de sonnerie vers A.

7) réponse de B.

Si B décroche, l'évènement est envoyé en arrière jusqu'à LOC1 par la signalisation du réseau : on passe alors en **phase de communication** (phase active de l'appel) et efficace car on démarre la taxation...

8) supervision.

Pendant la phase de communication, les commutateurs supervisent la communication pour détecter le raccrochage de A ou de B.

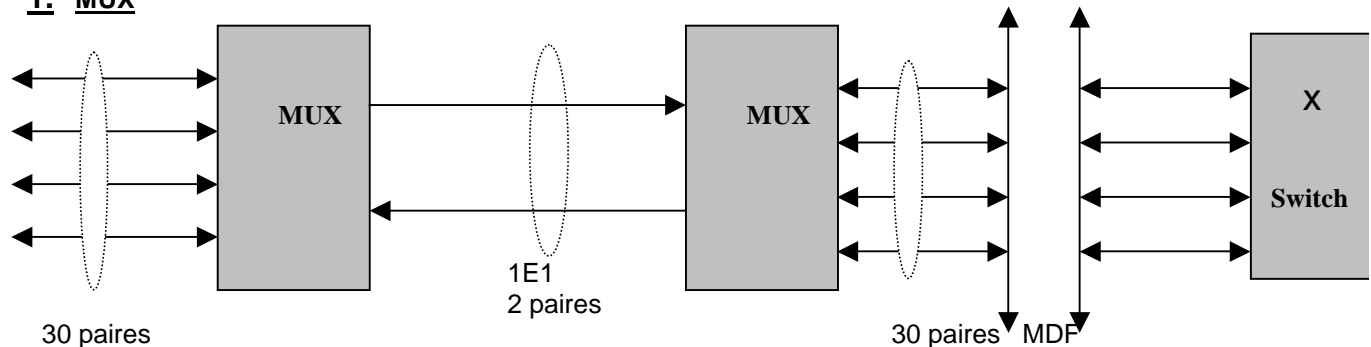
9) libération.

Lorsqu'une des 2 parties A ou B raccroche, le circuit établi entre A et B est libéré (ou relâché) : c'est la **phase de libération** du circuit qui à nouveau met en oeuvre la signalisation. La taxation est aussi arrêtée.

PUBLIC NETWORK	PSTN	Ed. 02.4	09/01	Page 7
----------------	------	----------	-------	--------

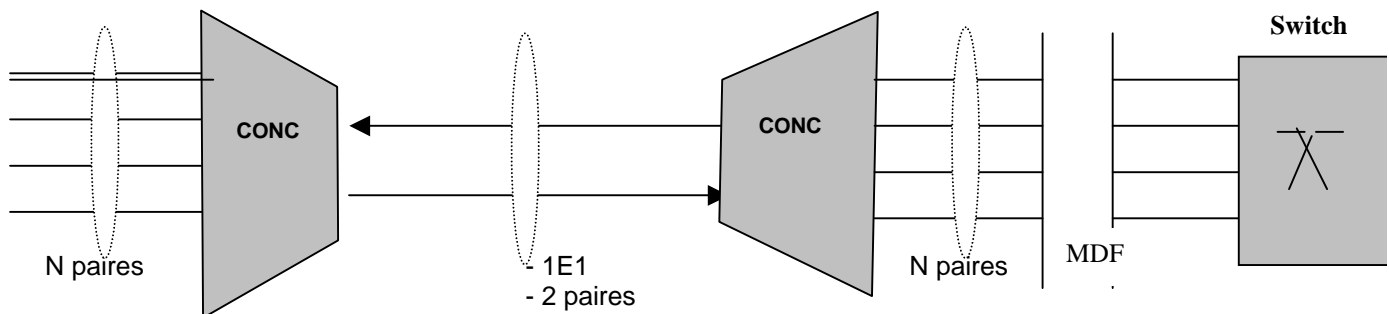
Systèmes à gains de paire dans le réseau local

1. MUX



- multiplexage statique synchrone (pas de blocage, mais inefficacité)
- double conversion A/N dans chaque MUX + une dans le commutateur (si commutateur numérique)
- solution transparente pour le commutateur

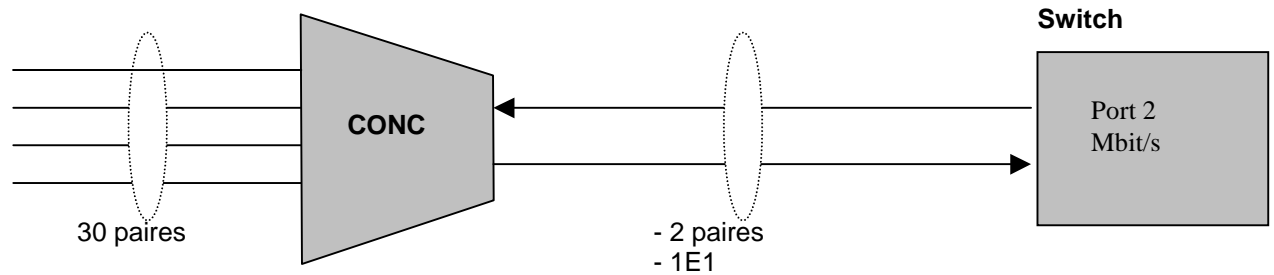
2. CONCENTRATEURS



- multiplexage statistique (basé sur le trafic des abonnés)
- l'allocation des TS dans le E1 est basé sur le trafic
- le dimensionnement dépend du trafic (e.g. pour un trafic téléphonique type résidentiel, on peut avoir N=256 pour 1E1 mais si 30 utilisateurs font simultanément une longue session Internet...
→ blocage)
- la solution est transparente pour le switch (on parle parfois de concentrateurs-miroirs)
- inconvénient : double conversion A/N

3. REMOTE-UNIT (RU-UNITES DISTANCES)

- il s'agit de concentrateurs s'interfacant directement sur le switch à 2 Mbit/s (on évite de ce fait la double conversion A/N)
- les cartes d'équipement (cartes de lignes) sont placées plus près des utilisateurs dans le réseau local et on évite la double conversion A/N
- le concentrateur est un RU ; le commutateur hôte est un BU (base unit)



- le concentrateur utilise un TS comme canal de signalisation avec le commutateur
- il y a 2 variantes : les solutions initiales propriétaires fermées (concentrateur et commutateur sont développés par les mêmes constructeurs ; la signalisation dépend du constructeur) et une solution plus récente, avec une interface ouverte définie par ETSI et appelée V5.2.
- NOTE : pour les MUX (point 1), une interface directe sur le commutateur à 2 Mbit/s a également été définie par ETSI, appelée interface V5.1 (l'intérêt est cependant moindre du fait de l'absence de concentration).

PUBLIC NETWORK	PSTN	Ed. 02.4	09/01	Page 9
----------------	------	----------	-------	--------

PSTN : Annexe 2.

Routage et acheminement.

- pour illustrer la différence entre routage et acheminement, on voit sur l'exemple fig 7 :
 - a) que les circuits de transmission entre TR2 et TR4 suivent des chemins physiques différents (aspects : diversité, sécurisation)
 - b) que le trafic écoulé entre A et B utilise un ensemble de circuits (en fait des TS de E1's) appelé "circuit group" réalisé au moyen de circuits de transmission empruntants deux **ROUTES DE TRANSMISSION** : TR2-TR4-TR6 et TR2-TR4-TR7-TR8-TR6 (sécurisation de transmission contre coupure de la liaison TR4-TR6).
 - c) que le trafic écoulé entre E et F, peut utiliser un faisceau de circuits directs E-F (direct circuit-group), (réalisé par des circuits de transmission TR2-TR4-TR7) ou passer en transit via les 2 commutateurs de transit A et B, c'est-à-dire les circuits groups EA, AB et BF.
 - d) en pratique, le trafic entre E et F utilise d'abord, en premier choix, le faisceau direct E-F, et si tous les circuits sont occupés, déborde ("overflow") sur la route (de trafic) EA-AB-BF. Les règles qui déterminent la manière dont le trafic est écoulé entre 2 commutateurs E, F au sein du réseau de commutation (switched network) définissent l'acheminement du trafic. EF et E-A-B-F sont 2 **ROUTES DE TRAFFIC** pour le réseau commuté.
 - e) enfin, on constate que l'on peut sécuriser dans les 2 plans, fonctionnels (switching) et physiques (transmission)

PUBLIC NETWORK	PSTN	Ed. 02.4	09/01	Page 10
----------------	------	----------	-------	---------