

Commutation de circuits

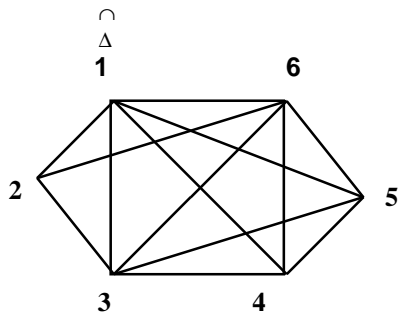
1. Nécessité de la commutation
2. Structure du réseau commuté
3. Notions de trafic
 - 3.1. Définition de l'intensité du trafic
 - 3.2. Trafics écoulé et offert
 - 3.3. Ordres de grandeur
 - 3.4. Variabilité du trafic
 - 3.5. Appels répétés
 - 3.6. Différents types d'appels et de flux de trafic
4. Ingénierie de trafic.
5. Evolution des systèmes de commutation téléphonique
6. Commutation électronique numérique
 - 6.1. Introduction
 - 6.2. Réseaux de connexions numériques
 - 6.2.1. Principes
 - 6.2.2. Le commutateur temporel
 - 6.2.3. Le commutateur spatial
 - 6.2.4. Combinaison
 - 6.3. Etage de commutation pour abonnés éloignés
 - 6.4. Architecture
 - 6.4.1. Structure d'un commutation numérique
 - 6.4.2. Le glissement ("slip")
 - 6.4.3. Architecture de la commande
7. Synchronisation du réseau.

Annexes

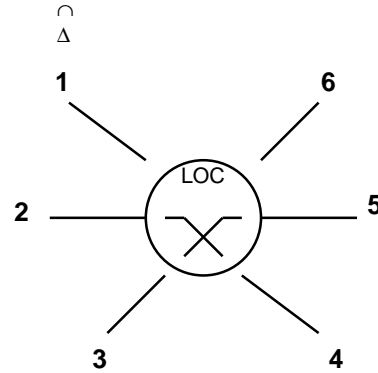
1. Commutation E-M
2. Commutation électronique spatiale
 - 2.1. Introduction
 - 2.2. Architecture
 - 2.3. Phases du traitement d'appel (simplifié)
 - 2.4. Réseau de connexion spatial
 - 2.4.1. Principes
 - 2.4.2. Réseaux maillés
 - 2.5. Recherche de chemins et blocage interne
 - 2.6. Réseaux droits et repliés
 - 2.7. Commutation 2 fils et 4 fils
3. Exemple : S12-Alcatel

1. Nécessité de la Commutation

1.1. Abonnés



- Nbre de liaisons : $\frac{N \times (N - 1)}{2}$



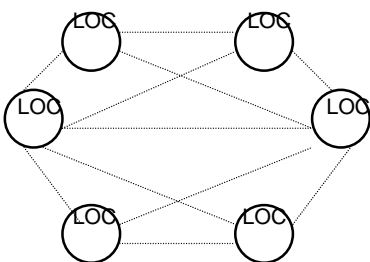
- Nbre de liaisons : N
- LOC commutateur LOCAL
(CO = "Central Office")

- Emplacement du Com Local : choix économique avec contraintes physiques
(Ex : longueur lignes d'abo).

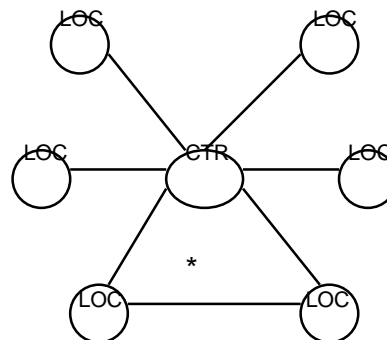
- Conception et dimensionnement lié à la nature probabiliste du trafic.

1.2. Commutateurs

Même problématique

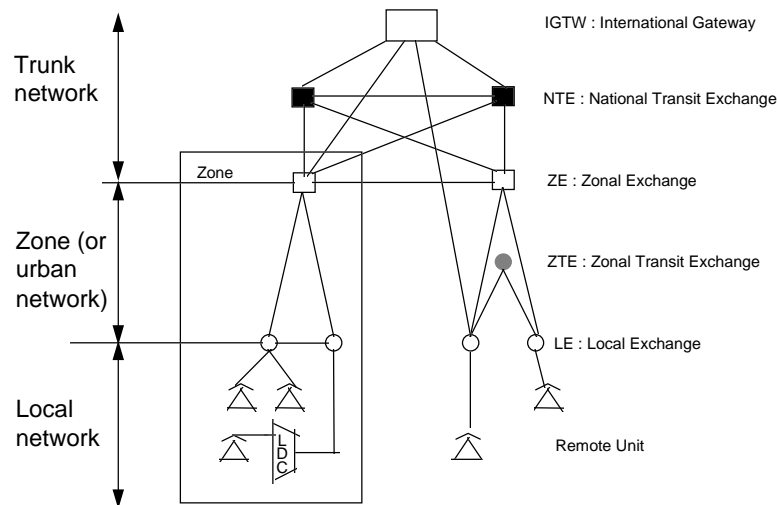


Réseau maillé
("meshed")



Réseau étoilé
(ou * partiellement maillé)
CTR = centre de transit

2. Structure du réseau commuté.



Remarks:

1. The "zone" exchanges give access to network and assure transit for the local exchanges of the zone.
2. Most of the exchanges are multi-fonction:
For example: - "zone" exchange + transit + international (Toll)
- Local + zone (combined)
3. In great areas (Antwerp, Brussels, ...)
Some zone exchanges are purely devoted to the transit of local exchanges

3. Notions de trafic.

3.1. Définition de l'intensité du trafic

- a. - L'intensité du trafic (usuellement appelé trafic) d'un organe de télécommunications [ligne d'abonné, jonctions, récepteur de signalisation, ...] est définie comme le rapport entre la durée d'occupation et la durée d'observation.
L'unité de trafic est l'erlang (E) [mathématicien danois A.K. Erlang].

- Par exemple une ligne d'abonné occupée 1 temps T1 (de manière continue ou discontinue) pendant une durée T2 écoule un trafic:

$$A = \frac{T1}{T2} E. \text{ Le trafic maximum est évidemment } = 1E \text{ pour une ligne.}$$

- b. - Considérons un exemple de N lignes entre 2 commutateurs et une durée d'observation T. (voir fig. 3.1.)
Soit t_i = somme des temps pendant lesquels i parmi les N lignes sont occupées simultanément, on a :

$$\sum_{i=0}^N t_i = T \quad (1)$$

$$\text{La somme des temps d'occupations} = \sum_{i=1}^N i \cdot t_i \quad (2)$$

$$\text{L'intensité du trafic } A = \sum_{i=1}^N i (t_i/T) \quad (3)$$

t_i/T est la proportion de temps pendant lequel i lignes sont occupées simultanément ; on déduit de (3) un second concept de l'intensité du trafic.

L'intensité du trafic est le nombre moyen d'équipements occupés simultanément pendant la durée d'observation.

- c. Si la période d'observation T est suffisamment longue pour qu'on puisse négliger l'effet des appels en cours au début ou à la fin de la période T, si h est la durée moyenne d'occupation d'un appel et si λ est le nombre moyen d'appels par unité de temps, on a:

$$A = \lambda \cdot h$$

On a déduit en 3ème concept (formule de Little): l'intensité du trafic est approximativement égale au nombre moyen d'appels pendant une période égale à la durée moyenne d'occupation d'un appel.

Note : durée d'occupation d'un appel = durée de communication (conversation) (éventuellement !) + durée de signalisation (établissement+ sonnerie+ libération).
La durée de communication est la durée efficace (au sens de la taxation).

3.2. Trafics écoulé et offert.

Les concepts ci-dessus s'appliquent au trafic écoulé ["carried traffic" : A_C].
Le trafic offert A_0 serait le trafic écoulé mesuré si le nombre de serveurs était infini.

exemple : fig. 3.2.

- trafic offert (b) = $\pm 1,94 E$ ($n \geq 5$ circuits)
- trafic écoulé (c) = $\pm 1,73 E$ ($n = 4$ circuits)

On définit aussi le trafic offert = nombre moyen de tentatives d'appels pendant une période égale à la durée moyenne d'occupation d'un appel (sous-entendu réussi).

Une tentative d'appel peut être réussie ["successful"] (au plan technique) c'est-à-dire que le réseau a réussi à mettre l'appelant en liaison avec l'appelé (la connexion de bout en bout est techniquement établie); elle est considérée comme efficace ("effective") si elle donne lieu à taxation (taxation de la durée de conversation !).

On a ainsi la répartition globale suivante :

- tentative d'appel - appel non-réussi (ex : défaillance, blocage)
 - appel réussi
 - (1) appel avec réponse ("answer")
 - (2) appel sans réponse ("no answer")
 - (3) appel avec occupation ("busy")
- (1) est efficace ; (2) et (3) ne sont pas efficaces (sauf si on taxe la tentative d'appel).
- trafic perdu ("lost") : $A_L = A_0 - A_C$.

3.3. Ordres de grandeur des trafics offerts pour différents types de demande.

La plupart des trafics sont exprimés en **bidirectionnel** : il s'agit dans ce cas de la somme des trafics départ et arrivée. C'est ce qu'on observe pratiquement sur une ligne d'abonné, bidirectionnelle par nature, l'abonné étant tantôt la partie appelante (trafic de départ: "originating"), tantôt la partie appelée (trafic à l'arrivée : "terminating").

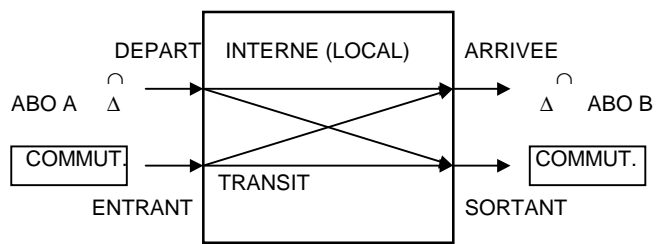
- ligne d'abonné résidentiel : 0,04 à 0,06 E (bid.)
- ligne professionnelle : 0,1 à 0,2 E (bid.)
- jonction vers PABX: 0,7 E (trafic unidirectionnel à l'arrivée sur le PABX).
- poste mobile (GSM) = 0,03 E (bid.)
- capacité en trafic d'une cellule GSM : $x E/m^2$

3.4. Variabilité du trafic.

- variabilité quotidienne , e.g. trafic national <-> trafic intercontinental
- variabilité saisonnière.

3.5. Appels répétés [voir fig. 3.3]

3.6. Les différents types d'appel / de flux de trafic.



Fonctionnalités

- Un commutateur local ne fait pas les appels transit.
- Un commutateur de transit ne fait que les appels transit
- Un commutateur combiné ou universel fait tous les types d'appels.

4. INGENIERIE DE TRAFFIC.

Modèle d'Erlang

1) Processus d'arrivée des appels: Poisson

- **Hypothèses:**
 - stationnaire: le nombre d'arrivée $N(t_0, t)$, indépendant de t_0
 - sans mémoire: Markov
 - probabilité d'un appel pendant l'intervalle (h):

$$P_l(h) = P(N(t_0, h) = l) = \lambda \cdot h + O(h)$$

$$O(h) \Rightarrow \lim_{h \rightarrow 0} \frac{O(h)}{h} = 0$$

- probabilité plus d'un appel pendant h = $O(h)$

$$\text{Dans ce cas: } P(t) = \frac{e^{-\lambda t} \cdot (\lambda t)^n}{n!} \text{ (distribution de Poisson)}$$

- **Moyenne** = $\lambda \cdot t$ (λ = taux moyen d'arrivée)
- **Variance** = moyenne

2) Loi de distribution des durées des appels (ou durée de service): loi exponentielle

- $P(\text{durée de service} \leq t) = 1 - e^{-\mu t}$
- Durée moyenne du service = $\frac{1}{\mu}$
- Variance = moyenne
- $P(\text{durée} > t) = e^{-\mu t}$

3) Traffic: $A = \frac{\lambda}{\mu}$

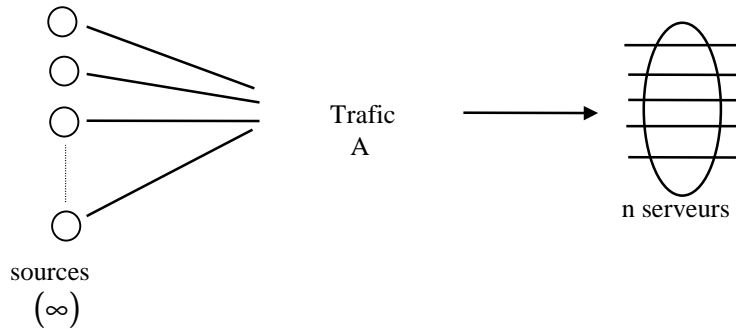
Note: si	$\frac{\text{variance}}{\text{moyenne}} = 1$	---> poissonnien ("random")
	< 1	---> régulier ("smooth")
	> 1	---> survariant ("rough")

4) Erlang B.

4.1. La formule d'Erlang B.

Les hypothèses sont :

- Nombre infini de sources
- Appels perdus ("lost call") (si un appel ne trouve pas de serveurs, il est rejeté)
- Loi de service: exponentielle.
- Loi d'arrivée: Poisson



- si A = trafic offert,

$$P_{n \text{ serveurs occupés}} = \frac{\frac{A^n}{n!}}{1 + \frac{A}{1!} + \frac{A^2}{2!} + \dots + \frac{A^n}{n!}} = B(n, A)$$

- pour distinguer les différents trafics A :

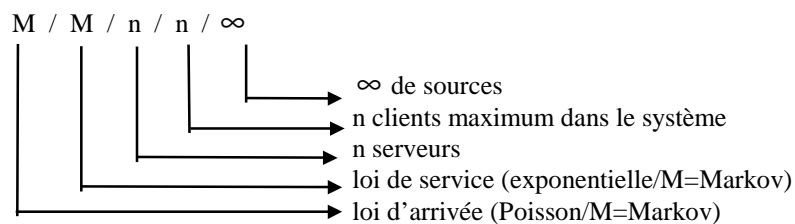
A_0 = trafic offert

A_c = trafic écoulé (c = "carried") (c'est en fait ce qu'on mesure)

A_l = trafic perdu (l = "lost")

$$\text{On a: } A_0 = A_c + A_l \text{ ou } A_c = A_0(1 - B)$$

- notation:



- remarque: Erlang-B valable pour d'autres lois de service (ex.: durée constante)

4.2 Application: dimensionnement des faisceaux de circuits entre commutateurs ("trunk-groups").

Le problème: on connaît en principe A . On fixe B . On veut déterminer N . La loi n'est pas réversible ---> usage de tables.

La fig. 4.1 représente le nombre de circuits requis (en ordonnée) pour une capacité de trafic offerte (en abscisse). Les différentes courbes sont relatives à différentes probabilités de blocage (**GOS = "Grade of Service"**). Ces valeurs figurent dans des tables : voir extrait dans la fig. 4.2.

Par exemple, pour une valeur typique de blocage utilisée dans le dimensionnement d'un faisceau direct, $B=1\%$, on voit que pour écouler un trafic offert de 60 E, il faut prendre $N=75$ (le trafic perdu est = 0.6 E).

4.3. Efficacité.

L'efficacité (ou rendement) est le rapport entre le nombre d'E écoulés et le nombre de circuits (pour un blocage B spécifié). Dans l'exemple du point 4.2. , l'efficacité est = 60/75.

On constate aisément sur les courbes d'E que l'efficacité va en croissant avec le trafic : on a donc intérêt à construire des gros faisceaux pour lesquels l'efficacité marginale atteint pratiquement 1 (1E de plus à véhiculer nécessite seulement 1 circuit de plus).

En réalité, les hypothèses théoriques soutenant la loi d'E n'étant pas vérifiées en pratique, on se limite à des efficacités opérationnelles de 0.85 à 0.9 ce qui rend la table d'E superflue dès qu'on atteint des trafics élevés.

4.4. Impact sur la planification.

L'efficacité allant croissant avec le volume du trafic écoulé, il est intéressant d'optimiser le nombre de circuits d'un réseau en ne créant des faisceaux directs entre commutateurs (locaux par exemple) qu'avec un nombre limité de circuits , provoquant ainsi un blocage relativement élevé, et en faisant déborder les appels bloqués sur des gros faisceaux de transit où l'efficacité marginale est élevée. (voir fig. SW- 4.3). Cette technique s'appelle le **débordement ("overflow")** . L'acheminement mis en oeuvre s'appelle dans cas l'acheminement alternatif ("alternate routing") : les faisceaux directs sont le 1er choix pour écouler les appels et les faisceaux de transit (HU : "High Usage") sont le 2 ième choix. Il s'agit d'un calcul d'optimisation économique qui doit prendre en compte les coûts de la transmission et de la commutation. En utilisant le débordement, on augmente la commutation de transit et on réduit les coûts de transmission. Il faut cependant noter que le trafic de débordement n'est plus poissonien (il est survariant) et qu'il faut en principe tenir compte d'une correction de la loi d'E (appelée formule de Wilkinson-Rapp).

Pratiquement, on dimensionne les réseaux nationaux (1 opérateur) avec comme objectif une probabilité de blocage de bout-en-bout de 1 % pour un trafic mesuré à l'heure chargée. Lorsque la communication passe entre plusieurs opérateurs, la qualité est plus difficile à atteindre ; souvent l'interconnexion est dimensionnée avec B=1 % . A noter aussi que la modularité (point suivant) influence beaucoup (et positivement) ce critère .

4.5 Modularité.

La modularité des circuits entre commutateurs est basée sur le E1 de la transmission. Cette modularité influence considérablement le dimensionnement : on trouvera ainsi que pour un trafic de 25 E offert entre 2 commutateurs locaux, il est préférable de construire un seul module E1 entre les 2 commutateurs et de faire déborder le trafic bloqué sur les faisceaux de transit.

Autre exemple dans le point 4.2 : on prévoit N=75 mais avec la modularité , il faudra installer N=90 (3 modules E1) ce qui accroît le pré-investissement mais aussi le GOS.

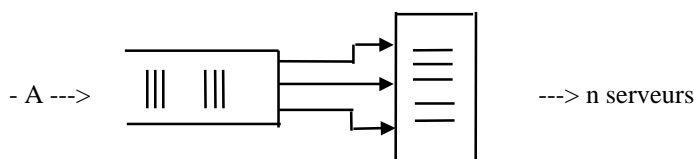
4.6. Exploitation en mode unidirectionnel ou bidirectionnel.

Les faisceaux peuvent être exploités en mode **unidirectionnel** ou **bidirectionnel** : dans le premier cas, les circuits sont alors affectés à un des 2 sens de trafic ; dans le second cas , les circuits sont utilisés à la demande , dans l'un ou l'autre sens. le mode bidirectionnel est plus efficace mais au prix d'une gestion plus compliquée.

5) Erlang C

- Système avec attente
- n serveurs
- nombre de clients maximum dans le système : ∞

- notation: $M / M / n / n / \infty / \infty$



- $C(n,A)$ = probabilité pour que n serveurs soient occupés

- temps moyen d'attente (y compris les appels non-retardés) = $C(n,A) \cdot \frac{T}{n-A}$

(le système est stable si $n > A$)

- valable si loi de durée de service est exponentielle.

(si durée = cte , on utilise la loi de KROMMELIN/POLLACZEK)

- exemple d'application: dimensionnement des enregistreurs, positions d'opératrices.

5. Evolution des systèmes de commutation téléphonique.

Chronologiquement :

1. Commutation de circuits.

- Manuel (opératrices)
- Electromécaniques (EM) (voir annexe1)
- Electronique spatial (voir annexe 2)
- Electronique temporel numérique : majoritaire actuellement (PSTN/ISDN/GSM).

2. Basé sur la commutation de paquets :

- ATM
- IP (VoIP)

6. Commutation électronique numérique.

6.1. Introduction

- Elle consiste à commuter l'information (voix, données) sous forme numérique et non plus analogique. Elle est assimilée pratiquement à la commutation temporelle car elle est basée sur le multiplexage temporel TDM, utilisé dans la transmission numérique. On notera cependant l'existence de commutateurs numériques d'impulsion PAM dans certains PABX où la commutation reste spatiale.
- Fondamentalement, il s'agit d'une commutation de circuits à 64 kbit/s
- Le "stimulant" de la commutation temporelle est évidemment la synergie numérique dont les principaux traits sont :
 - a) les systèmes de transmission MIC entre commutateurs s'interfaçent directement aux commutateurs sans conversion N/A.
 - b) l'évolution vers le RNIS
 - c) les progrès et les coûts décroissants de la micro-électronique.
- Par contre la ligne d'abonné PSTN restant analogique, il est nécessaire d'assurer la conversion A/N dans l'équipement d'abonné et la transformation de certains signaux électriques.

6.2. Réseaux de connexions numériques.

6.2.1. Principes

- Le réseau de connexion assure la commutation de TS entre des multiplex entrants et des multiplex sortants.
- Pour pouvoir permuter ces TS dans le temps, il faut une commutation temporelle ; pour pouvoir aiguiller d'une entrée physique vers une sortie, il faut une commutation spatiale.

Les commutateurs numériques comportent ces 2 types de commutateur de bases.

6.2.2. Le commutateur temporel (voir fig. 6.1.A)

Il se compose d'une mémoire de conversation (SM= « Store Memory ») où sont stockés les octets des TS des voies entrantes ; l'écriture dans cette mémoire est séquentielle et commandée par un compteur.

La lecture de cette mémoire est commandée par une mémoire de commande (ou de connexion) qui pilote la séquence de transfert dans les TS de sortie (ex.: le TS1 en entrée est permuté dans le TS2 en sortie): ce système est appelé **TSI (= Time Slot Interchange)**. Tout le système, pour permettre la commutation, est synchronisé sur une **horloge interne**.

Les échantillons se succèdent à une vitesse de 8 kHz ce qui conditionne la vitesse d'écriture et de lecture. Le délai de commutation est la différence de temps entre l'inscription dans la mémoire et la lecture (il ne peut évidemment dépasser 125 μ s). Compte tenu de la performance des circuits micro-électroniques mis en oeuvre, un commutateur temporel peut traiter plus d'un PCM à la fois; la technique mise en oeuvre est appelée "supermultiplexer". La figure 6.1.B. illustre ce concept pour un système permettant le TSI de 16 systèmes, 2 Mbit/s entrants sur un supermultiplexeur sortant de 4 Mmots/sec [les 8 bits de chaque mot = TS, sont traités en parallèle]. Une taille typique de mémoire est comprise entre 32 (1 PCM) et 1024 mots.

6.2.3. Le commutateur spatial (voir fig. 6.2)

Il se compose d'une matrice $n \times n$ de points de connexion comme pour la commutation spatiale, à la différence que la connexion est modifiée à chaque TS interne. Par conséquent, une mémoire de commande qui contient autant de mots qu'il y a d'intervalles de temps est associé à la matrice spatiale. Par rapport à la commutation analogique, le multiplexage dans le temps du réseau de connexion, permet une économie sensible.

Lors du changement de TS interne, un nouveau mot de commandes est lu et un nouvel ensemble de points de connexion est mis en oeuvre.

6.2.4. Combinaison des commutateurs spatiaux et temporels.

6.2.4.1. Le Réseau TST (voir fig. 6.3.)

Dans l'exemple, le commutateur comporte 3 étages T d'arrivée (A1,A2,A3) et 3 étages T de sortie (B1,B2,B3), chacun de 32 TS couplés par une matrice spatiale C de dimension 3×3 .

Considérons la commutation du TS2 de l'étage d'entrée A1 dans le TS31 de l'étage de sortie B3. La recherche de chemin est effectuée par le système central de commande.

- a. recherche d'un TS interne libre dans le chemin A1-C-B3, par exemple le TS7
- b. le chemin est inscrit dans les diverses mémoires de commande à l'adresse correspondant au TS interne n° 7.
 - le TS n° 2 est inscrit dans la mémoire de commande CMA1
 - connexion spatiale entre A1 et B3 dans CM-C
 - le TS n° 31 est inscrit dans la mémoire de commande CMB3
- c. la commutation a lieu comme suit : l'octet du TS2 est inscrit à l'arrivée dans la mémoire SM-A1 ; il y reste jusqu'à l'intervalle de temps interne n° 7. L'horloge interne n'étant pas nécessairement en phase avec l'horloge d'arrivée de A1, la durée de mémorisation est comprise entre 0 et 31 TS. Lors du TS interne n° 7, l'octet du TS2 est lu dans SMA2 et connecté sur la matrice spatiale et aiguillé via le point de connexion (1,3) sur la sortie ("outlet") 3 vers l'étage B3 où il est mémorisé en position 31 sur base de l'adresse indiquée par CM-B3. Cet octet sera ensuite lu par le TS31 du multiplex de sortie B3.

La séquence ci-dessus se répète à chaque trame. En cas de commutation 4 fils, outre le trajet AB, il faut également réaliser le chemin B-A.

2 stratégies sont applicables :

- 1) établir le trajet indépendamment du premier
- 2) " " " en coordination avec le premier.

La première réalisation peut conduire à un système plus efficace.

6.2.4.2. Structure STS (voir fig 6.4.)

Le fonctionnement est similaire à TST. Pendant TS2, les points de connexion de SA sont activés de telle sorte que l'octet de A1 est déposé sur la sortie 3 et ensuite mémorisé dans la cellule 2 de la mémoire SM3 de l'étage T. Au cours du TS 31 suivant, cet octet est lu, et via le point de connexion de SB activé par la mémoire de commande de l'étage S, transféré dans le TS31 de B3. En général, en commutation 4 fils, la même cellule de T est utilisée pour l'établissement des chemins aller-retour.

6.2.4.3. TDM Bus Switching.

Une alternative au réseau TST consiste à réaliser le réseau spatial au moyen d'un bus (voir fig . 6.5). Les ports d'entrée 2 Mbit/s sont lus séquentiellement au rythme de l'horloge interne et chaque mot est

écrit dans un TS d'un port de sortie sur base d'une adresse constituée par le n° de port + le n° de TS qui est déposée sur le bus adresse.

6.2.4.4 Réalisations pratiques

- Les matrices spatiales peuvent atteindre $N = 32$, généralement $N = 16$
- Les matrices temporelles varient entre 32 et 1024 TS
- Les taux de blocage internes sont très faibles $< 10^{-8}$
- Les réseaux TST sont préférés aux TST (Coût du S).
En pratique les réseaux plus importants ont une structure $TS^n T$
(Cause : coût du réseau S)
- Exemples : ESS4 de ATT (TSSSST), EWSD de Siemens (TSSST). Le S12 d'Alcatel est basé sur une structure « feuilletée » TDM-Bus switching.

6.3. Etage de commutation pour abonnés éloignés.

Grâce au système MIC, il est possible de connecter des étages d'abonnés à distance (RU = Remote Unit). Ces étages ont une fonction de concentration et la logique du traitement d'appel peut être décentralisée plus ou moins fortement entre le commutateur hôte ("Host", ou "BU" Base Unit) et cette unité distante. L'intérêt est en dominant de réduire l'invertissant en transmission (câbles) dans le réseau local.

Concentration

Pour concentrer le trafic, on utilise un commutateur temporel avec moins de TS en sortie qu'en entrée (et inversement pour l'autre direction). C'est le cas des lignes d'abonnés dont le trafic (après numérisation 64 kbit/s) est concentré sur des systèmes 2 Mbit/s avant d'être appliqué sur les entrées du réseau de connexion. Une fonction typique de concentration est de 8 à 1. On limite en pratique le trafic sur les TS en sortie du concentrateur à 0,8E. [ce qui implique maximum 0,1 E sur les lignes d'abonnés à l'entrée pour un tel facteur de concentration.].

6.4. Architecture

6.4.1. Structure (voir fig. 6.6.)

A. Les abonnés et les jonctions présentent des caractéristiques très différentes.

- abonnés :
 - faible trafic (ex : 0,06 E)
 - analogique : conversion pour interfaces à l'étage T.
Traitement de signaux électriques incompatibles avec le réseau de connexion numérique (circuits logiques faible puissance).
 - RNIS : voir module RNIS.

- jonctions (trunks):
 - fort trafic (ex : 0,8 E par jonction)
 - généralement numérique (MIC)

B. Le commutateur comporte donc un étage d'abonnés qui assure une fonction de concentration et des circuits de ligne qui interfacent avec les lignes d'abonnés analogiques ou des lignes RNIS. Pour les abonnés analogiques, les fonctions assurées sont connues sous l'acronyme BORSCHT :

- a) B = "battery" - alimentation de la ligne d'abonné (48 V) et régulation
- b) O = "overvoltage protection" : protège l'électronique de faible puissance de signaux plus puissants comme la foudre
- c) R = "Ringing" : courant de sonnerie
- d) S = "supervision" : décrochage, rappel d'enregistreur,...

- e) C = coding/decoding : conversion analogie/num et inverse
- f) H = "hybrid" : conversion 2 fils/4 fils, filtrage
- j) T = « testing » : - tester la ligne d'abonné (accès métallique)
- tester le côté commutateur.

C. Pour les jonctions entrantes et sortantes à 2 Mbit/s, l'interface est plus naturelle et conforme à la jonction G703. Il faut cependant tenir compte des différences entre la synchronisation des systèmes 2 Mbit/s entrants et l'horloge interne du commutateur : le multiplex 2 Mbit/s est synchrone mais la commutation des TS individuels nécessite une synchronisation sur l'horloge interne du commutateur; pour résoudre ce problème, et synchroniser les 2Mbit/s qui ont des écarts par rapport à l' horloge interne du commutateur, on utilise un tampon ("Buffer") de la taille de 2 trames MIC (512 bits)

Selon que l'horloge externe est plus rapide ou moins rapide que l'horloge interne, une trame est perdue ou insérée (**glissement**, "**slip**"). (voir point 6.4.2 ci-après)

Le module d'interface pour les jonctions assure aussi la détection des alarmes et l'extraction de la signalisation (eg. TS16) (voir chapitre de Signalisation) (appellation: DLTU: "Digital Line Termination Unit" ou DTM: "Digital Trunk Module").

6.4.2. Le glissement ("slip")

1. Principe du glissement

Considérons 3 commutateurs A,B, C, synchronisés par une horloge. Les fréquences sont normalement identiques mais il y a des petits écarts. Chaque commutateur commute les TS et les place (i.e les "écrit") dans une trame sortante à un débit déterminé par sa fréquence d'horloge.

Pour les trames envoyées de A vers B par exemple, B dispose à l'arrivée d'un buffer dans lequel sont écrites les trames à la fréquence f_A et lues à la vitesse f_B . Puisque f_A et f_B sont différentes, il se produit régulièrement un glissement, i.e. soit une répétition de l'information ("overflow") si $f_B > f_A$, soit une perte d'information "underflow", si $f_A > f_B$.

Ces buffers, appelés, "aligners" sont décrits au point 2.

S'ils n'y avait pas de buffers, les glissements se produiraient de manière incontrôlée selon la différence de fréquence instantanée entre f_A et f_B . Des trames sont donc raccourcies ou allongées provoquant la perte d'alignement de trame à la réception et dans certains cas plusieurs trames sont perdues avant que l'on ne trouve l'alignement.

Les buffers se permettent pas d'empêcher le glissement tant que f_A est différent de f_B (il faudrait des buffers infinis) mais bien de contrôler le glissement; on parle dès lors de glissements commandés ("controlled slips")

Comme on l'a vu dans le modèle transmission, les imperfections telles que la gigue et le dérapage engendrés par les équipements de transmission (régénérateur, multiplexeur) contribuent également à des différences de timing et donc à des glissements mais c'est dans ce cas seulement la liaison concernée qui est perturbée. Lorsque les horloges des commutateurs numériques sont différentes, ce sont toutes les liaisons qui sont affectées.

Le seul moyen de réduire les imperfections du réseau est de le synchroniser (voir chapitre 8)

2. Principe des buffers ("aligners")

La REC G 810 identifie 2 types de buffers: **buffer de trames** qui ont pour effet soit la duplication, soit la perte d'une trame et **buffer de TS**. En pratique, les commutateurs numériques utilisent un buffer de trames. Le principe est le suivant (voir fig. 6.7.)

Le buffer est constitué par une mémoire cyclique de 2 trames. Il y a un pointeur d'écriture et un pointeur de lecture, distants au départ d'1 trame (i.e. 125 µsec)

Supposons que $f_B > f_A$. Dans ce cas le pointeur de lecture finit par rattraper le pointeur de lecture. Lorsque la distance entre les 2 pointeurs approche le TS, la lecture de la trame en cours est achevée et le pointeur de lecture est ensuite réaligné sur le début de la même trame n .

Il y a donc réaligement; la distance entre les 2 pointeurs est de nouveau égale à +/- une trame (125µsec) mais une trame est lue 2 fois donnant lieu à 1 glissement.

Dans ce cas où f_B est $< f_A$, on a évidemment le phénomène contraire; la procédure consiste dans ce cas à faire sauter une trame n par le pointeur de lecture et à la positionner directement sur la trame $n+1$

A chaque réaligement la différence de phase des 2 pointeurs est 125µsec. Il y a un glissement chaque fois que cette différence touche à zéro ou devient 250µsec. Un glissement se produit donc chaque fois que la phase des 2 horloges de 2 commutateurs glisse jusqu'à atteindre 125µsec..

3. Objectif de la performance des glissements dans le réseau (G822)

L'UIT a défini une connection hypothétique de référence (HRC) internationale de bout-en-bout ("end-to-end"), constitués par 2 commutateurs locaux (aux 2 extrémités) et transitant par (pas moins de !) 3 niveaux de transit nationaux et 5 commutateurs de transit internationaux, sur une distance de 27.500Km....

La performance reprise pour une liaison 64 kbit/s est la suivante (temps total ≥ 1 an) :

Catégories	Taux moyen de glissement	Proportion de temps
A	< 5 glissements / 24h	$> 98,9 \%$
B	5 glissements / 24h < 30 glissements / 1h	$< 1 \%$
C	> 30 glissements / 1h	$< 0.1 \%$

A correspond à un niveau de qualité requis par le RNIS

B correspond à un niveau de qualité requis par la téléphonie

C est inacceptable pour tous les services

Afin de pouvoir déterminer la performance des unités de synchronisation dans le réseau, la Rec. propose les "Budgets" suivants dans les différentes parties du réseau

La partie internationale	8 % du taux admissible
Chaque partie nationale de transit	6 % du taux admissible
Chaque partie locale	40 % du taux admissible

On a , par exemple, 1 glissement / 60 heures dans la partie internationale pour la catégorie A

On en déduit ainsi que la qualité des horloges de commutateurs et donc de la synchronisation est liée à la hiérarchie dans le réseau.

En ce qui concerne la connexion internationale numérique (plésiochrone) entre 2 réseaux nationaux numériques, l'UIT a aussi spécifié un taux de glissement inférieur à 1 tous les 70 jours.

6.4.3 Architecture de la commande.

La commande (au sens large) d'un commutateur est réalisée par un ensemble de ressources constituée par des processeurs , avec le SW et les données (DB's) associés. Une version donnée d'un SW (Release) peut contenir de l'ordre de 2 Mio d'instructions en langage évolué (Chill, C).

6.4.3.1. Les fonctions à assurer par la commande

La commande, quelle que soit son mode de réalisation (mono/multi-processeurs, centralisée/distribuée) réalise les tâches suivantes :

- a. les tâches liées au trafic : **traitement d'appel** (« **call handling** »), voix et données : cela comprend e.g. l'identification de la ligne et des caractéristiques des parties (appelant/appelé), l'analyse et la manipulation des chiffres d'adresse, la supervision, le « dialogue » avec les autres entités (commutateurs, noeuds IN) du réseau via la signalisation, la sélection des « trunks » , le contrôle des services supplémentaires activés pendant l'appel(e.g. CCBS)..., Le traitement d'appel se fait aider par des **fonctions de support** spécialisés : par exemple des programmes qui détectent les événements (e.g. le décrochage), des programmes qui gèrent les ressources au moyen d'informations dans les DB's (e.g. allocation d'un TS libre dans un Trunk-group, allocation d'un analyseur de chiffres reçus en DTMF,...)
- b. les tâches liées à la **taxation** (« **charging** »): analyse, production de records détaillés de taxation (CDR : « Call Detailed Record ») et envoi vers les centres IT de traitement, envoi des informations de taxation vers les terminaux ad-hoc,...
- c. la **maintenance** : détection de défaillances, rapports d'alarmes, diagnostic, activation de ressources en réserve, routines de tests (maintenance préventive),...
- d. l'**administration** : permet à l'opérateur de télécoms de gérer (via mise-à-jour de DB's et collecte d'informations venant du commutateur) le comportement du commutateur et les services qu'il délivre , en particulier : gérer le trafic (e.g. modification des données d'acheminement, mesures de trafic fournies par le commutateur), réaliser des extensions HW et SW (sans perturber les appels), d'allouer/modifier (« provisioning ») des services , des accès (e.g. E1, ISDN BA) à des clients,....

6.4.3.2. Les différents types d'architecture

La classification est complexe dans un système multiprocesseurs où il faut considérer le couplage entre les processeurs, la répartition des tâches (liée elle-même à la distribution fonctionnelle du logiciel). Grosso-modo, on distingue :

- architecture centralisée : (héritée des systèmes SPC spatiaux)

Un processus central dirige l'établissement de tous les appels et participe à chaque phase. Les inconvénients de cette architecture sont multiples :

- le coût initial est très élevé (il faut installer dès le départ une puissance suffisante et prévoir la sécurisation)
 - la capacité en traitement est limitée
 - la vulnérabilité aux défaillances (panne totale)
 - l'ajout de services complémentaires est difficile
 - des circuits électroniques spécialisés sont nécessaires pour dialoguer avec la périphérie et le réseau.
- architecture décentralisée : elle consiste à compenser certaines faiblesses mentionnées ci-dessus. A côté du processeur central qui gère toujours l'appel, on introduit des processeurs esclaves qui gèrent la périphérie (ex : exploration des lignes d'abonnés, émetteur/récepteur de signalisation) et accroissent la modularité de celle-ci.
 - La capacité du processeur central, le coût initial et la vulnérabilité (=> redondance, duplication) sont toujours concernés.
 - Exemple de telle architecture : (AXE de Ericsson ; ESS4 de ATT, EWSD de Siemens)
 - architecture distribuée : plusieurs processeurs participent au traitement de l'appel et agissent comme des serveurs dont les activités sont enchaînées et ont été démarrées au départ de la source de la demande (abonnés, circuit entrant). Cette structure remédie aux inconvénients des 2 autres au prix d'une grande complexité dans la gestion des processeurs : nécessité de maintenir des tâches en

synchronisme et en parallèle. Elle s'inscrit bien dans l'évolution technologique actuelle (VLSI, microprocesseurs) (ex : système S12 d'Alcatel)
[A noter que le commutateur EM Strowger par son mécanisme pas-à-pas est du type distribué, chaque sélecteur étant autonome]

6.5. Système 12 (Alcatel)

6.5.1. Matériel (Hardware) [voir fig. 6.5.1.]

- 1 réseau de connexion, le DSN ("Digital Switching Network") qui est un réseau de connexion replié constitué par plusieurs étages TST (selon la taille).
- des modules (CE = Control Element) sont connectés à ce réseau ; le réseau DSN véhicule non seulement la voix et les données mais aussi les messages échangés entre les modules.
- 2 types de modules : TCE (Terminal Control Element) et ACE (Auxiliary Control Element). Les CE sont constitués d'un matériel standard (une mémoire et micro-processeur commerciaux : 286, 386);
 - les TCE sont associés avec un circuit (ex : ligne d'abonnés, jonctions)
 - les ACE sont des processeurs autonomes.
- TCE [voir fig. 6.5.2.] = processeur + mémoire + interface terminale
- chaque TCE est chargé avec le logiciel approprié aux circuits terminaux [ex : supervision des lignes d'abonnés]; il gère la communication entre processeurs, participe au traitement d'appel [ex : établissement d'appels] et assure des fonctions (OAM).
- les ACE interviennent à un niveau supérieur dans la hiérarchie des traitements d'appel (ex : acheminement).

6.5.2. Principaux modules.

1. ASM ["Analog Subscriber Module"]

- 1 TCE gère 1 module constitué par 2 clusters de 64 lignes chacun avec 1 MIC par cluster
- organisation croisée entre 2 modules, pour raison de sécurité [1 paire de TCE avec chaque TCE gérant normalement 64 + 64 lignes mais capable d'assumer temporairement la gestion de 256 lignes]
- 1 LIC ("Line Interface Circuit") par ligne d'abonné
- 1 circuit de sonnerie par module.

2. DTM (Digital Trunk Module)

- principale fonction : conversion HDB3 ou AMI
- extraction d'horloge et synchronisation
- synchronisation externe pour le module d'horloge et de tonalités (voir point 7)
- fonctions de maintenance (boucle de test, alarme,)
- matériel indépendant de la signalisation (CAS, n 7) [firmware différent]
- éventuellement, traitement de la signalisation n 7 (si MTP simple).

3. RIM (RSU Interface Module) : (RSU = "Remote Subscriber Unit" = unité distante)

± identique à DTM mais n 7 simplifié.

4. CCM (Common Channel Module)

- TS de signalisation (..... TS 16) des DTM connectés au CCM via liaisons semi-permanentes dans le réseau
 - 16 "signalling links" [externe ou interne entre CCM]
5. SCM (Service Circuits Module)
- signalisation MF [DTMF de l'abonné et R2-MFC du réseau]
 - 32 récepteurs/émetteurs
 - filtrage et génération numérique.
6. MPM ("Maintenance + Peripheral Module")
- communication homme-machine, entrées-sorties, centralisation des alarmes
 - 2 processeurs : - défense [coordination
maintenance, tests de routine, diagnostic...]
 - périphérie [disque, terminaux,...]
6. CTM ("Clock and Tone Module")
- contrôle l'horloge du commutateur, les horloges externes et la synchronisation
 - génère les tonalités et l'heure/jour [tonalité et heure générées sous forme numérique, messages distribués aux TCE's sur les bus de tonalités]
 - 4 horloges externes peuvent être connectées (interface G703.10)
 - signaux de tests.
8. TTM ("Trunk Test Module")

6.5.3. Distribution du logiciel

La distribution du logiciel apparaît dans la figure 6.5.3.

6.5.4. DSN

1. Module de commutation numérique [voir fig. 6.5.4.]

- 16 circuits d'accès connectés sur 1 bus parallèle multiplexé dans le temps
- sur chaque circuit d'accès :
 - 1 jonction MIC bidirectionnelle [1 ligne entrante (IN = Réception) et 1 ligne sortante (OUT = émission)]
 - chaque jonction transporte 1 MIC constitué de 32 TS de 16 bits (débit 4,096 Mbit/s)
- le module peut établir et maintenir 1 connexion entre tout TS côté entrant et tout TS côté sortant.
- pas de commande centralisée : chaque module est autonome ; il reçoit un ordre de connexion émanant du TCE et établit une connexion pas à pas (du type Strowger)
- tous les éléments sont synchronisés en fréquence mais pas de synchronisation de trame
- bus : 34 lignes parallèles; chaque circuit accède aux bus pendant chaque TS ; la durée de cycle du bus est donc de 244 nsec.

2. Structure [voir fig. 6.5.5.]

Etage 1 = accès

- Chaque CE est connecté sur 1 paire d'éléments de commutation via 1 système 4 Mbit/s (32 canaux à 128 kbit/s)
- Typiquement, 4 CE (ex : DTM) par paire d'accès
- Nombre de plans liés au trafic (la sortie de chaque CE peut être connectée à plusieurs plans (max. 4) selon le trafic).
- Nombre d'étages liés à la taille, c.-à-d. au nombre de CE (abonnés, jonctions)

Etages 2 à 4 = commutateurs de groupes

- 4 paires de commutateurs d'accès (étage 1) sont connectés sur 1 module de commutation numérique de l'étage 2 (8 portes d'entrées)
- Il y a au maximum 16 groupes de 8 modules dans l'étage 2 ; la capacité maximum est donc de $16 \times 8 \times 8/2 = 512$ paires d'accès.

Capacité maximale : le réseau totalement équipé comporte 4 étages et 4 plans.

3. Recherche de chemin

- Chaque CE a une adresse de 4 chiffres hexadécimaux : ABCD

où A = adresse du CE vue par la paire de commutateur d'accès de l'étage 1 (12 adresses possibles)

B = adresse de l'étage 1 vue par l'étage 2 (4 adresses possibles)

C = adresse de l'étage 2 vue par l'étage 3 (8 adresses différentes)

D = adresse de l'étage 3 vue par l'étage 4 (16 adresses différentes)

- La recherche se fait par l'établissement d'un chemin au hasard, pas à pas à partir du CE de départ jusqu'à un étage de "réflexion" : il n'y a donc pas d'image du réseau de connexion et des chemins occupés en mémoire.
- L'étage de réflexion peut être un des 4 étages et dépend de la comparaison de l'adresse du CE de départ avec celle du CE d'arrivée.
- A partir de l'étage de réflexion, le chemin vers le CE d'arrivée se fait sur base d'une recherche dirigée en fonction de l'adresse du CE terminal.

4. Blocage et délais de connexion

- Le faible coût des éléments de connexion permet d'obtenir un faible taux de blocage grâce à un large dimensionnement du réseau.
- Le délai de connexion est en moyenne de 370 sec pour 4 étages avec 0,5 E par maille.

6.5.5. Exemple de traitement d'appel interne entre l'appelant A et l'appelé B.

A. Décrochage de l'appelant

1. TCE-A (TCE du module d'abonné de l'appelant A) signale "décrochage" à ACE-A (Call Control qui supervise le TCE-A).
Info : identité ligne appelante, événement : prise.
ACK de ACE à TCE.
2. ACE-A détermine la nature de l'appelant (il interroge sa propre base de données), en particulier la signalisation de l'abo (DTMF, IMP ?)
Si DTMF, demande à ACE-S (système), un récepteur DTMF.
3. ACE-S sélectionne un TCE-SCM et lui communique l'identité du demandeur A.
- 4 - établissement d'un chemin
bidirectionnel entre TCE-SCM et TCE-A [ligne abo < > récepteur]
- tonalité d'invitation à numéroté envoyée à l'abo.
5. TCE-SCM signale cet état à l'ACE-CC.

B. Réception chiffre et analyse.

1. TCE-SCM collecte les chiffres du n° appelé et envoie à ACE-A; dès le 1er chiffre, arrêt de la tonalité d'invitation.
2. ACE-CC interroge ACE-S qui analyse le chiffre reçu et lui donne les indications sur le nombre de chiffres à collecter avant de pouvoir entamer l'analyse complète [ici appel interne on collecte tous les chiffres]. ACE-S traduit le n° appelé en n° équipement (DN EN)

C. Relâchement du récepteur

1. ordre de relâchement du récepteur
2. libération du chemin entre TCE-A et TCE-SCM
3. ACE-S avisé de la libération récepteur est libre pour un nouvel appel
4. ACE-CC avisé de l'événement.

D. Prise de la ligne appelée.

1. ACE-CC commande l'établissement du chemin entre TCE-A et TCE-B
2. Etablissement du chemin de conversation entre TCE-A et TCE-B
3. TCE-B marque la ligne B occupée et avise "son" ACE du traitement d'appel (ACE-B).
4. ACE-B prévient ACE-A que la ligne B est prise.

E. Sonnerie de l'appelé

1. ACE-A demande à TCE-A de connecter le chemin de conversation vers l'abo A.
2. ACE-A avise ACE-B
3. ACE-B demande à TCE-B :
 - 1) d'envoyer le courant de sonnerie vers B.
 - 2) d'envoyer la tonalité de sonnerie vers A.
4. Tonalité de sonnerie envoyée vers A.

F. Réponse de B et conversation

1. Lors de la réponse de B, TCE-B coupe le courant et la tonalité de sonnerie.
2. TCE-B avise ACE-B de l'événement (réponse)
3. ACE-B signale la réponse à ACE-A.

G. Raccrochage de l'appelant

1. -TCE-A détecte le raccrochage et communique l'événement à ACE-A
- acquittement
2. 3. les autres parties sont prévenues
4. les ACE se préparent au relâchement de la connexion.

H. Relâchement

1. ACE-A demande à ACE-B de mettre la ligne B dans l'état libre
2. ACE-B donne cet ordre à TCE-B : B est mis en "parking"
3. ACE-A donne l'ordre à TCE-A de relâcher le chemin de conversation et de mettre A dans l'état "libre"
4. TCE-A avise TCE-B de relâcher le chemin de retour
TCE-B supervise B et le fait passer de "parking" à libre dès raccrochage.

7. Synchronisation du réseau.

Les objectifs de qualité relatifs aux glissements, gigue et dérapages dans le réseau requièrent la synchronisation du réseau.

7.1. Méthodes de synchronisation.

Il y a 2 types de méthodes : **plésiochrone** (appliquée pour les liaisons internationales) et **synchrone** (utilisée pour les réseaux nationaux).

7.1.1. Mode plésiochrone.

Dans cette méthode, les CO's ("Central Office") sont pourvus d'horloges de haute qualité qui opèrent indépendamment les uns des autres (en pratique, des horloges au césium, voir 7.2). Cette solution n'est pas économique pour un réseau important, étant donné le coût des horloges au Cs et le nombre de CO's. Elle n'est dès lors appliquée que pour les liaisons internationales (ou dans certains cas sur l'interconnexion nationale si l'opérateur veut rester indépendant de l'opérateur dominant, par exemple). L'avantage de cette solution est donc l'indépendance des réseaux. L'horloge sert en général aussi de référence primaire pour la synchronisation du réseau national (voir point 7.1.2).

7.1.2. Mode synchrone.

Dans cette méthode, il existe une horloge primaire de référence (PRS : "Primary Reference Source") et toutes les horloges du réseau (i.e. celles des commutateurs ou des équipements de transmission comme les brasseurs) doivent s'aligner sur cette référence. Il existe 2 méthodes pour la mise en oeuvre : la méthode "maître-esclave" et la méthode de "synchronisation mutuelle".

7.1.2.1. La méthode maître-esclave.

Dans cette méthode, la fréquence primaire de référence (ou "timing") du PRS est distribuée pratiquement de manière hiérarchique en strates. Comme fournir des liaisons directes à partir du PRS vers tous les noeuds à synchroniser serait économiquement prohibitif, la fréquence de référence (située dans la strate 1) est distribuée par des liaisons directes sur les commutateurs de transit nationaux qui constituent la strate 2. La strate 2 fournit ensuite la synchronisation aux commutateurs de la strate 3 et ainsi de suite suivant la hiérarchie du réseau.

La fourniture du signal de synchronisation est toujours "top-down" mais un noeud de la strate N peut aussi alimenter directement des noeuds de la strate N-2 par exemple. La méthode est simple et économique puisque le signal de référence est transporté via les liaisons numériques existantes qui véhiculent le trafic. De plus, la diversité des routes dans le réseau numérique de transmission permet aisément d'assurer la fiabilité par des chemins redondants.

7.1.2.2. La méthode de synchronisation mutuelle.

Les horloges des différents noeuds se synchronisent les uns sur les autres et opèrent à une fréquence qui est la "moyenne" des fréquences de tous les noeuds du réseau (voir fig. 7.2). La synchronisation mutuelle implique théoriquement un réseau maillé de noeuds ce qui limite son application à un réseau de taille modeste (c'est en pratique impossible pour un réseau important comme un grand réseau national). D'autres inconvénients sont à signaler : on obtient une fréquence égale mais pas nécessairement précise et il y a des problèmes de saut de fréquence lorsqu'un des noeuds tombe hors service.

7.2. Horloges pour la synchronisation.

7.2.1. Horloge de référence (G811).

Le Rec. G811 spécifie pour un signal de référence, qui doit être produit de préférence à 2,048 Mbit/s, les valeurs en terme de précision de fréquence, de discontinuité de fréquence (par exemple, lorsqu'on change un des éléments en cas d'accident) et de variations de phase à long terme.

La précision de fréquence est inférieure à 10^{-11} et la technique la plus utilisée est l'horloge atomique au Césium qui peut atteindre une précision de $7 \cdot 10^{-12}$. Le mode de réalisation le plus fréquent pour la fiabilité du réseau est une configuration redondante à 3 horloges au Césium avec décision majoritaire (on compare l'écart de fréquence absolu entre les 3 horloges et on choisit comme référence une des 2 horloges les plus proches l'une de l'autre. L'autre peut servir de "back-up" en cas d'accident ou d'intervention sur la première).

A titre de comparaison, l'UTC, le temps Universel Coordonné, a une précision de 10^{-13} . On peut réaliser des PRS dits non-autonomes à partir de l'UTC en utilisant des systèmes de navigation comme Loran-C ou GPS qui sont basés sur l'UTC.

Des horloges atomiques au Rubidium , moins onéreuses que le Césium mais aussi moins précises (10^{-11}) sont utilisées dans des équipements de mesure et dans les commutateurs de transit.

7.2.2. Horloges esclaves. (G812)

L'équipement de synchronisation esclave reçoit les références sur plusieurs liaisons numériques entrantes (pour la fiabilité) et une des liaisons sert de référence à un moment donné . Si la liaison "dégénère" (e.g. trop de gigue, d'erreurs ou de dérapages), il y a commutation sur une autre liaison. Techniquement , un système esclave est réalisé par un PLL qui agit sur une horloge à quartz.

ANNEXE 1.

Systèmes électromécaniques.(EM)

1. EM : STROWGER (1889)

- Système pas-à-pas ("step-by-step") :
(contrôle direct) (voir fig. A1.1 à A1.3.)
- 2 caractéristiques importantes ;
 - configuration du réseau et plan de numérotage sont liés
 - sélecteurs décimaux.
 - sélecteurs : - 1 mouvement vertic. + 1 mouvement rotatif
 - 10 niveaux et 10 points d'accès par niveau.

2. EM : Système à enregistreurs (contrôle indirect) (voir fig. A1.4)

- Etage de présélection
- Enregistreurs et traducteurs préfigurent la scission entre le réseau de connexion et la commande.
- Sélecteur non-décimaux.

3. Rotary

- Même principe : - sélecteur rotatif
- actionné par moteur
- contrôle indirect.

4. Crossbar

- Matrice de connexions : point de connexion réalisé par le déplacement de 2 barres croisées.
- Nouvel élément de commande : marqueur (contrôle global, sélection conjuguée).

ANNEXE 2 .

Commutation électronique spatiale.

(SPC-ANALOG ; SPC = "STORED PROGRAM CONTROL")

A2.1. Principes

- Buts poursuivis
 - Réduire l'encombrement
 - Simplifier l'exploitation et la maintenance (usure mécanique, réglage)
 - Augmenter la souplesse (nouveaux services)
 - Augmenter la rapidité
- Moyen :
 - Remplacement éléments EM par circuits logiques et ordinateurs
- Résultats :
 - Ordinateur pour la commande commande centralisée
 - Circuits logiques, sauf :
 -
 - 1) Equipements de ligne
 - Courant relativement élevé pour micro (qqmA)
 - Courant de sonnerie (80 V, 25 Hz)
 - 2) Réseau de connexion
 - Meilleur rapport impédance (on/off) pour les points de connexion E-M.
 - Mini-crossbar
 - Relais rapides (relais à lames vibrantes)
 - Avantages obtenus mais aussi inconvenients
Panne totale due aux défaillances (matérielle et/ou logicielle de la commande centralisée).

2. SPC SPATIAL : ARCHITECTURE. (Voir fig. A2.1.)

- 4 parties :
- A. Réseau de connexion
 - B. Equipement périphérique
 - C. Commande centralisée
 - D. Dispositif (I/O)

A. Réseau de connexion (voir ci-après)

B. Périphérie :

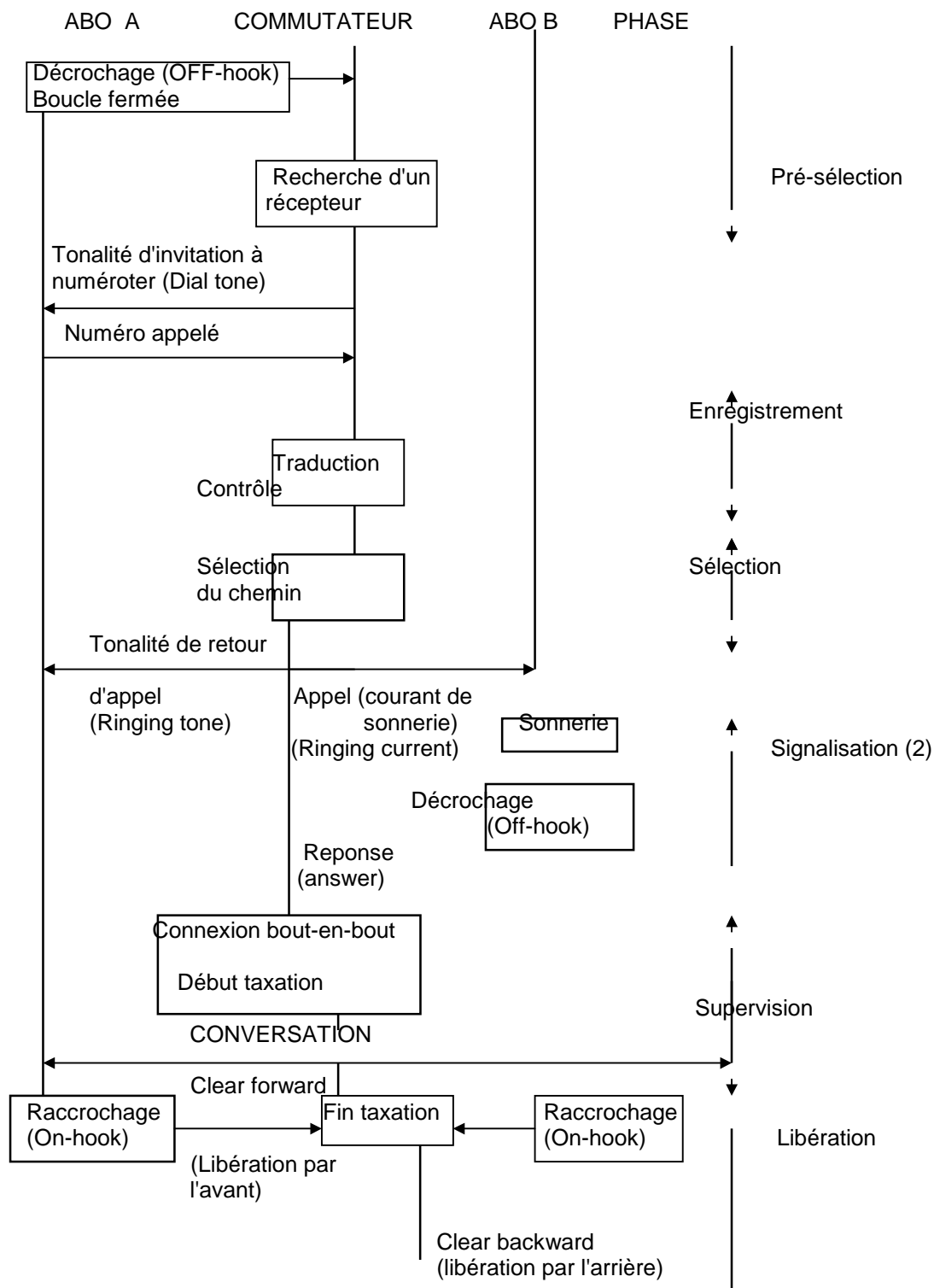
- Marqueur : établit et libère les chemins de connexion
- Explorateur : détection des événements (ex : décrochage, prise jonction entrante)
- Distributeur: commande les relais de ligne (vers les abos !) et les émetteurs de signalisation.

C. Commande centralisée :

- Processeur (au moins dupliqué)
- Mémoire
 - tables de traduction (acheminement, taxation)
 - données relatives aux abonnés (classes)
 - contexte (appels en cours, chemins de connexion établis)
- Sécurisation
 - Redondance en réplique synchrone
 - Partage de charge (en Metaconta 10C)
 - Redondance de type N + 1
 - Réserve passive.

D. Dispositifs (I/O) : console, imprimante, bandes ...

A2.3. Phases du traitement d'appel local (simplifié)



(1) dépend de la nature de la signalisation d'abonné

(2) limitée dans le cas de l'appel local, concerne surtout les autres commutateurs.

A2.4. Réseau de connexion ("switching network")

A2.4.1. Principe

- Connecter N entrées à N sorties
- Elément de base = matrice spatiale (Voir fig. A2.2.)
- N entrées x N sorties = N^2 points de connexion
(le point de connexion = relais, circuit électronique,)

La fig. A2.2.a représente une matrice $m \times n$.

Pour connecter l'entrée i à la sortie j , on ferme le point de connexion (i, j) .

La représentation symbolique est donnée par la fig. A2.2.d.

Il est aussi possible de connecter 2 entrées et 2 sorties par les arrangements à 2 points de connexion [fig A2.2.b. et fig. A2.2.c.] [application : boucle avec équipement de tests].

La fig. A2.2.e. représente une matrice à accessibilité partielle [tous les points ne sont pas équipés].

Enfin, lorsque les entrées et les sorties sont constituées par les mêmes lignes, on peut utiliser une matrice dite triangulaire ou repliée [fig. A2.2.f.].

Problème

- Commutateur $N = 10.000$ abos matrice théorique de 100 millions de points ! ...
- Solution : réseau maillé (= link system)

A2.4.2. Réseaux maillés

1. à 2 étages (voir fig. A2.3.)

- économie en nombre de points : $2 N \times N^2 = 2 N^3$ points de contact au lieu de N^4 .
- inconvénients :
 - a. 1 seule maille entre 1 matrice du 1er étage et du 2ème étage capacité limitée et blocage interne (voir point A2.5. ci-après)
 - b. absence de mélange entre flux i, j (brassage)

2. à 3 étages (voir fig. A2.4.)

- il y a r chemins possibles entre les matrices de l'étage d'entrée et de sortie
- le nombre de points de connexion = $n.r.b + b.r.p. + m.r.p.$
- réseau symétrique : $n = m$ et $b = p$

A2.5. Recherche de chemins et blocage interne

A2.5.1. Recherche de chemin

La complexité du réseau maillé augmente la complexité de la logique de commande des chemins, c'est-à-dire le processus de recherche de chemins.

Exemple : dans le réseau à 3 étages de la fig. A2.4., relier l'entrée 2 de la matrice A1 de l'étage A à la sortie 4 de la matrice C7 de l'étage C (recherche de point à point).

En pratique, la mémoire de commande contient l'image de l'état du réseau et l'occupation des diverses mailles.

Si l'étage Bj est libre, le chemin est établi via le point de connexion $(2, j)$ de la matrice A1, le point de connexion $(1, 7)$ de la matrice B, j et le point de connexion $(j, 4)$ de la matrice C7.

A2.5.2. Blocage interne

Chaque entrée peut être reliée à chaque sortie via R chemins différents.
Dans l'exemple cité, il faut trouver une matrice B_j telle que les mailles (1,j) et les mailles (j,7) soient libres. En cas d'échec, on parle de blocage interne.

Exemple : fig. A2.5.

- connexion de x vers y : à la sortie de la matrice A1, les mailles vers les matrices B3 et B4 sont libres mais les mailles entre B3, B4 d'une part et C3 d'autre part sont occupées.
- On peut réaliser des réseaux non-bloquants au sens strict : (réseau de Clos), c'est le cas, dans le réseau à 3 étages, si r (le nombre d'étages B) = $2.n-1$ (cas symétrique = mcn). (Si $n=4$, $r=7$)
- Voir un exemple fig. A2.6. Bien que le nombre de points de connexion soit plus faible que dans le cas d'une seule matrice, le coût supplémentaire limite l'application des réseaux de Clos aux applications militaires ou au réseau spatial de certains commutateurs numériques (voir ci-après).

A2.5.3. Logique de la recherche des chemins

- Le choix du chemin dépend d'un algorithme ; la plupart des systèmes utilisent un choix aléatoire qui a l'avantage de répartir l'usure du matériel (spatial) et de limiter les erreurs systématiques (points de connexion défaillants).
- En cas de blocage interne, et selon les systèmes, diverses stratégies sont appliquées:
 - rejeter l'appel (modèle à appel perdu)
 - mettre l'appel en attente et faire une autre tentative
 - réarranger (c-à-d. déplacer des liaisons en cours pour libérer un chemin).
- On distingue également les 2 modes suivants de recherche :
 - la sélection pas à pas (où l'appel progresse pas à pas d'étage à étage).
 - la sélection conjuguée : on envisage tous les chemins possibles entre l'entrée et la sortie.

A2.5.4. Tolérance au blocage interne

La probabilité de blocage admise est de l'ordre de $1 /$; elle est inférieure aux probabilités de blocage des faisceaux entre commutateurs de l'ordre de 1 %.

A2.6. Réseaux droits et repliés.

Définition

- Les réseaux droits sont des réseaux dans lesquels une connexion est établie entre les deux côtés du réseau (comme dans une matrice rectangulaire)
- Les réseaux repliés sont des réseaux dans lesquels les accès sont tous situés du même côté (comme dans une matrice triangulaire) et on peut établir une connexion entre 2 quelconques de ces accès. En général, le chemin peut être établi depuis l'entrée ou depuis la sortie.

Exemple :

- réseaux droits : voir fig. A2.7
- réseaux repliés : voir fig. A2.8

- cas a) : réseau droit replié sorties vers entrées
- b) : réseau droit repliés par les sorties
- c) : réseau droit replié par un étage supplémentaire.

Commentaires

La distinction est classique pour les centres de transit ou pour les appels "départ ou arrivée" mais devient délicate pour les appels internes dans les commutateurs locaux puisque les accès d'abonnés sont du même côté et bidirectionnels.

Dans ce cas, les appels internes sont établis par l'intermédiaire de joncteurs locaux (JL) qui ont 2 entrées sur le réseau (voir fig. A2.9).

A2.7. Commutation "2 fils" et "4 fils"

- La plupart des commutateurs spatiaux commutent 2 fils : les 2 sens de transmission (appelant-appelé) utilisent la même paire.
- Lorsqu'on veut modifier le signal, il faut séparer les 2 sens de transmission et utiliser "4 fils".

La transmission numérique est naturellement 4 fils. Un commutateur 2 fils dans un environnement de transmission 4 fils nécessite la conversion 2 fils/4 fils préjudiciables pour l'affaiblissement dans le plan de transmission. C'est pourquoi certains centres de transit commutent 4 fils.

Deux moyens peuvent être utilisés pour un commutateur 4 fils :

- la duplication du réseau de connexion 2 fils, chaque réseau 2 fils étant commandés en parallèle
- la technique du repliage :
 - repliage du réseau (voir A2.4.3.)
 - repliage de la commande (l'établissement des liaisons dans chaque sens se fait par un algorithme de recherche "symétrique" (voir fig. A2.10)