

REPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix - Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
POLYTECHNIQUE



REPUBLIC OF CAMEROUN
Peace - Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

NATIONAL ADVANCED SCHOOL
OF ENGINEERING

MASTER PRO 2 EN TELECOMMUNICATIONS

PLANNIFICATION ET INGENIEURIE DES RESEAUX DE TELECOMS

Séquence 5 : RESEAUX FIXES ET SIGNALISATION SEMAPHORE : CAS DU RTC

Equipe des concepteurs :

- Emmanuel TONYE
- Landry EWOUSSOUA

Le contenu est placé sous licence /creative commons/ de niveau 5 (Paternité, Pas d'utilisation commerciale, Partage des conditions initiales à l'identique)..



CHAPITRE5

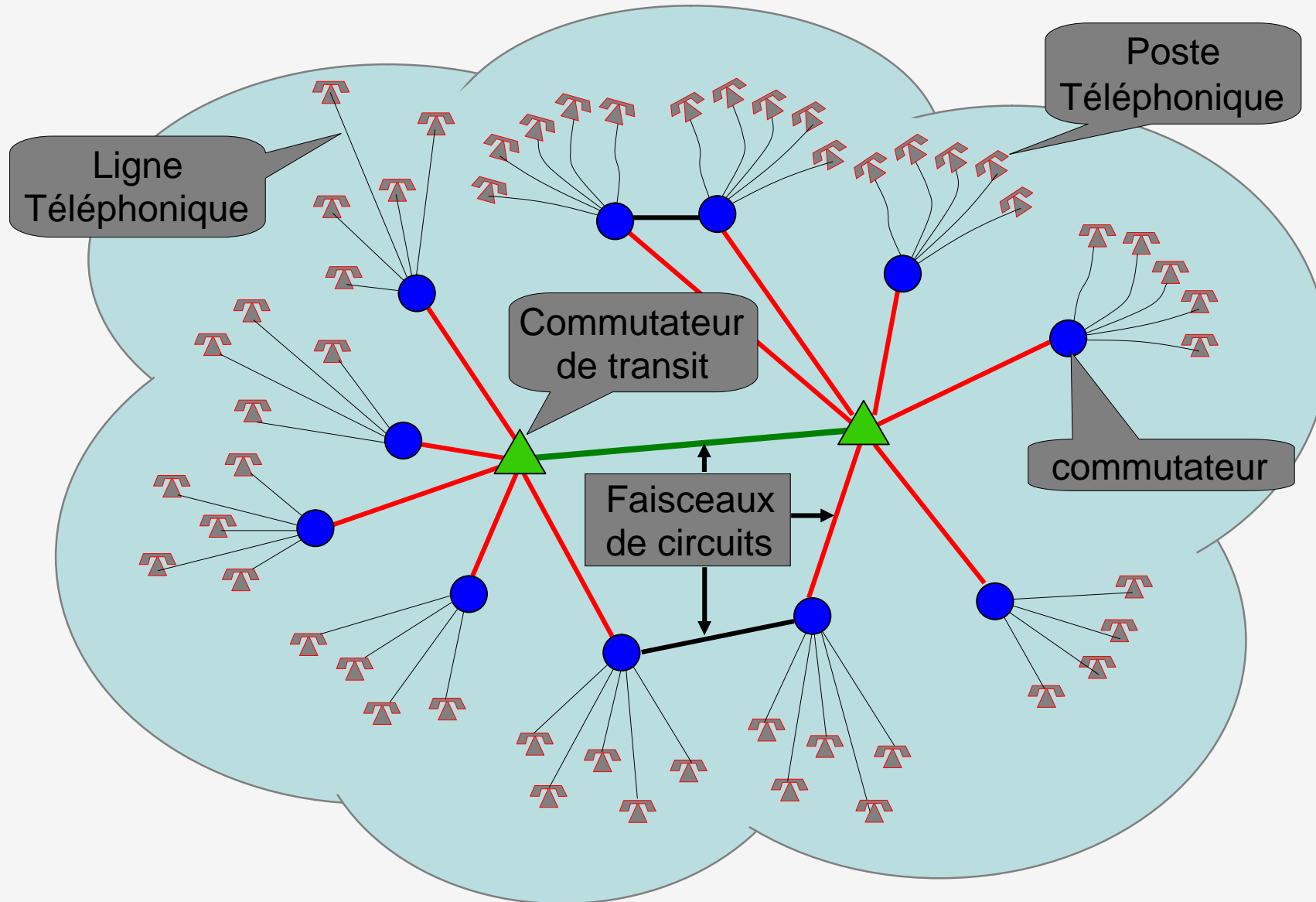
Réseaux fixes et signalisation sémaphore : cas du RTC



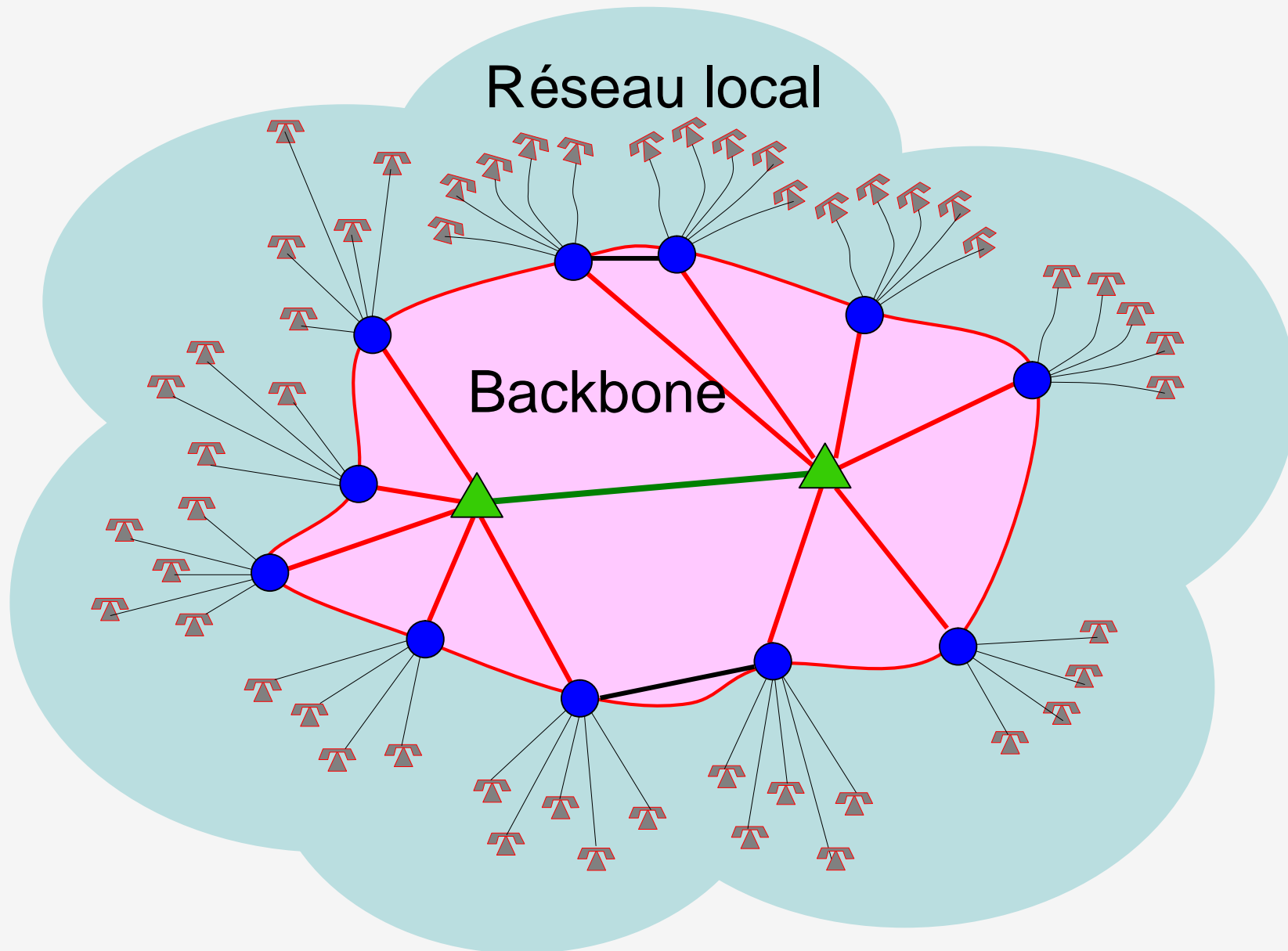
RÉSEAU
TÉLÉPHONIQUE
COMMUTÉ



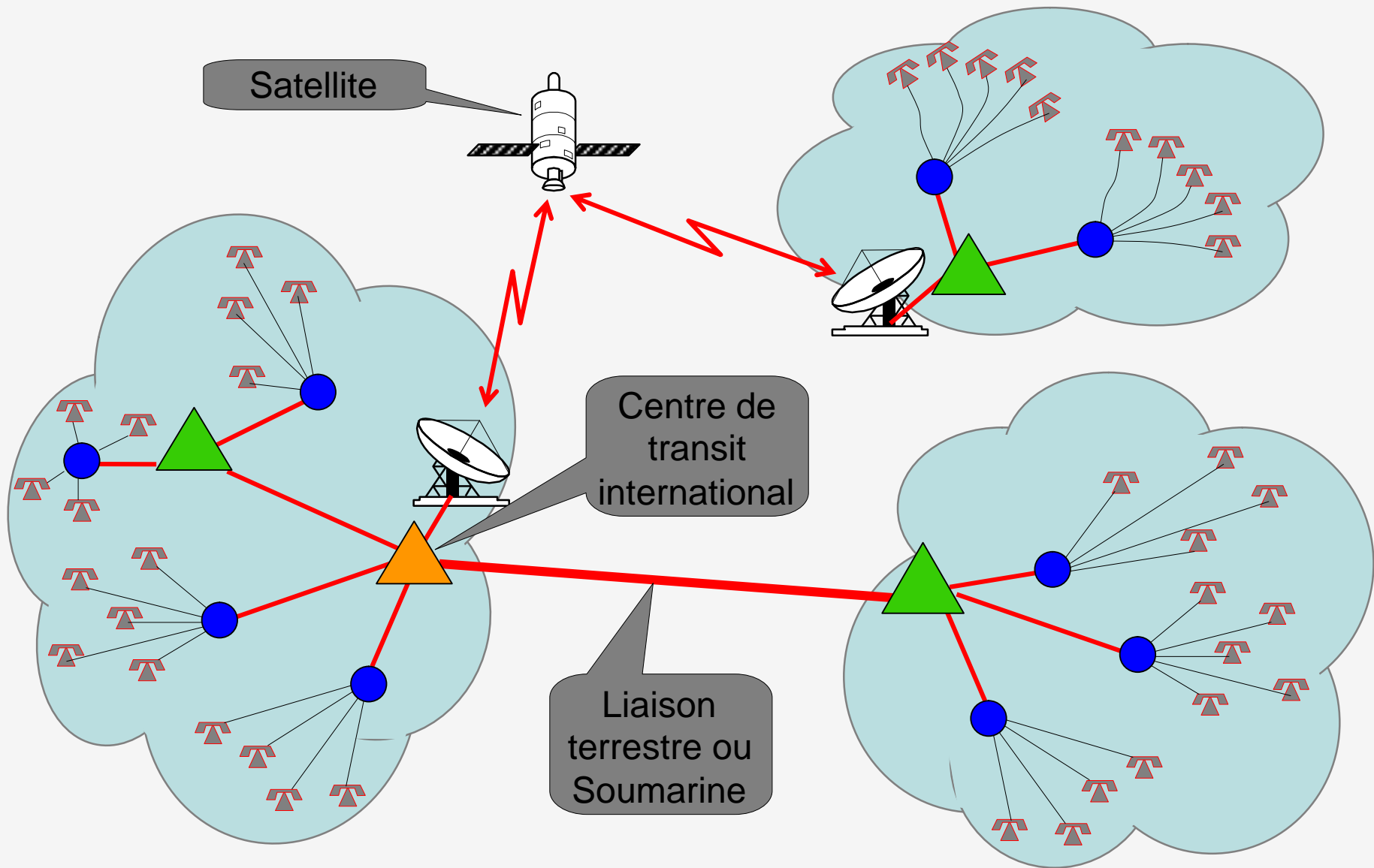
Structure du RTC



Réseau Local et Dorsal



Le RTC est un réseau mondial



Infrastructure du Réseau local

Le Poste Téléphonique
permet d'échanger :

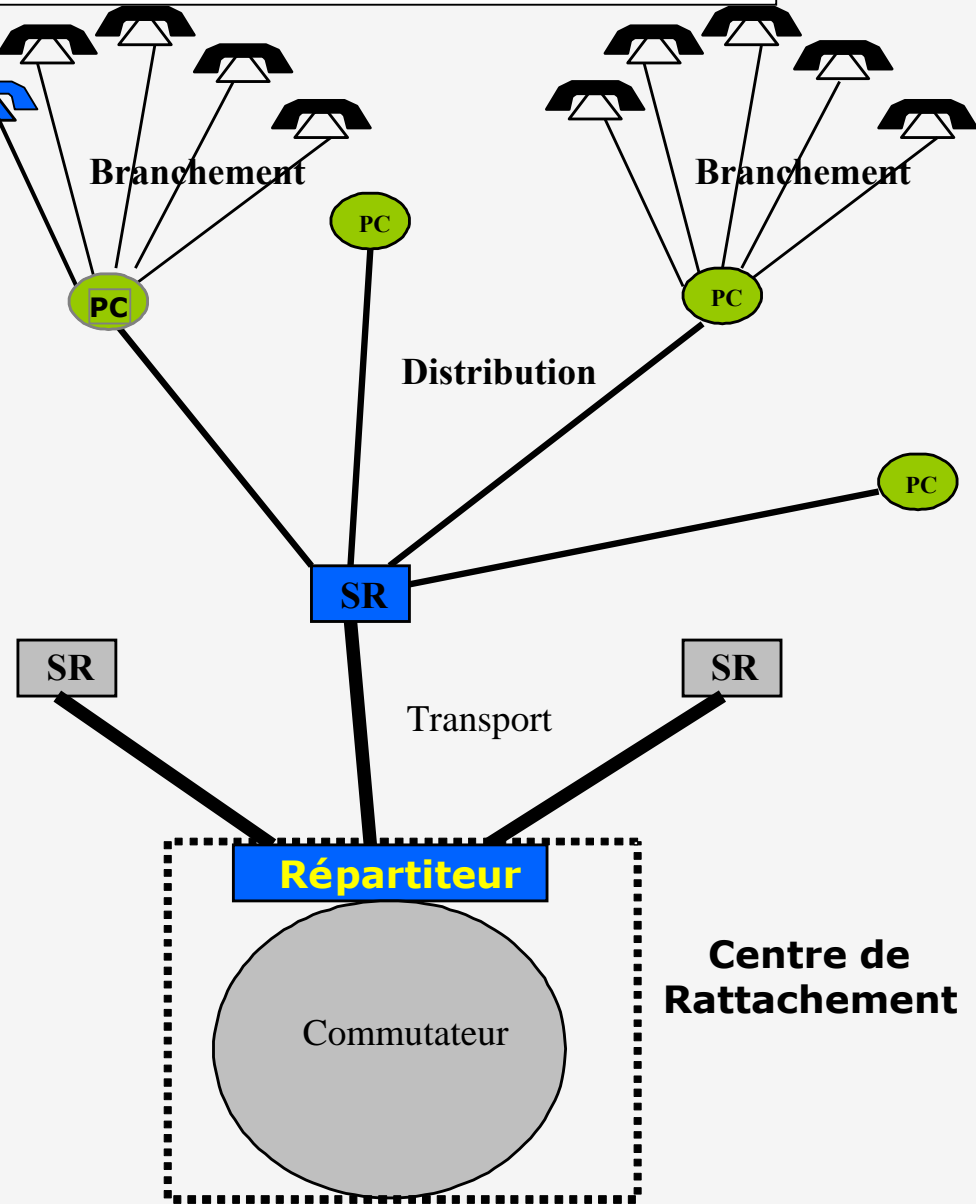
❖ **Voix**

❖ **signalisation**

⊕ **Sonnerie**

⊕ **Tonalités**

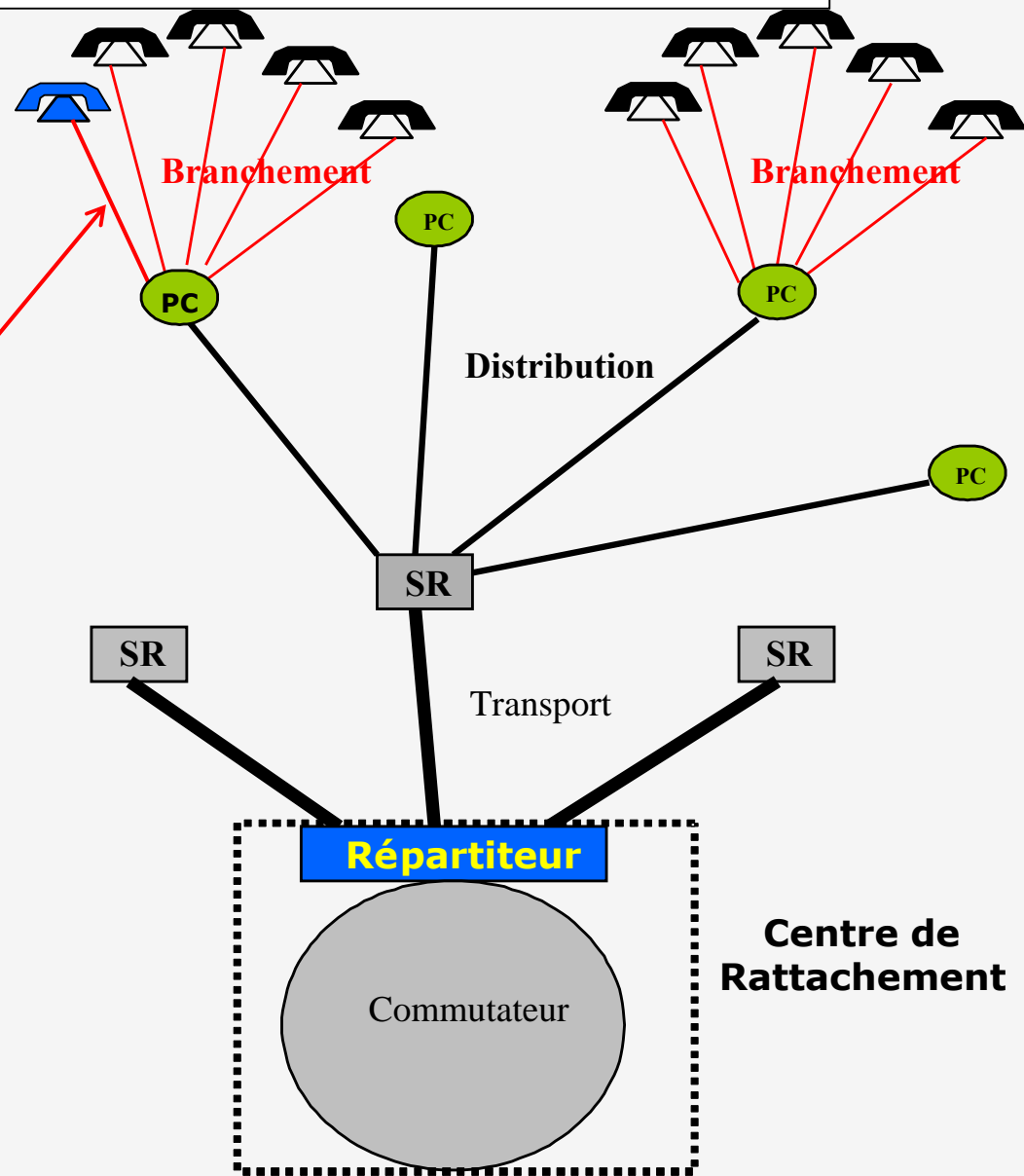
⊕ **Numérotation**



Infrastructure du Réseau local

Branchement :

Ligne bifilaire de 0.4 à 0.6

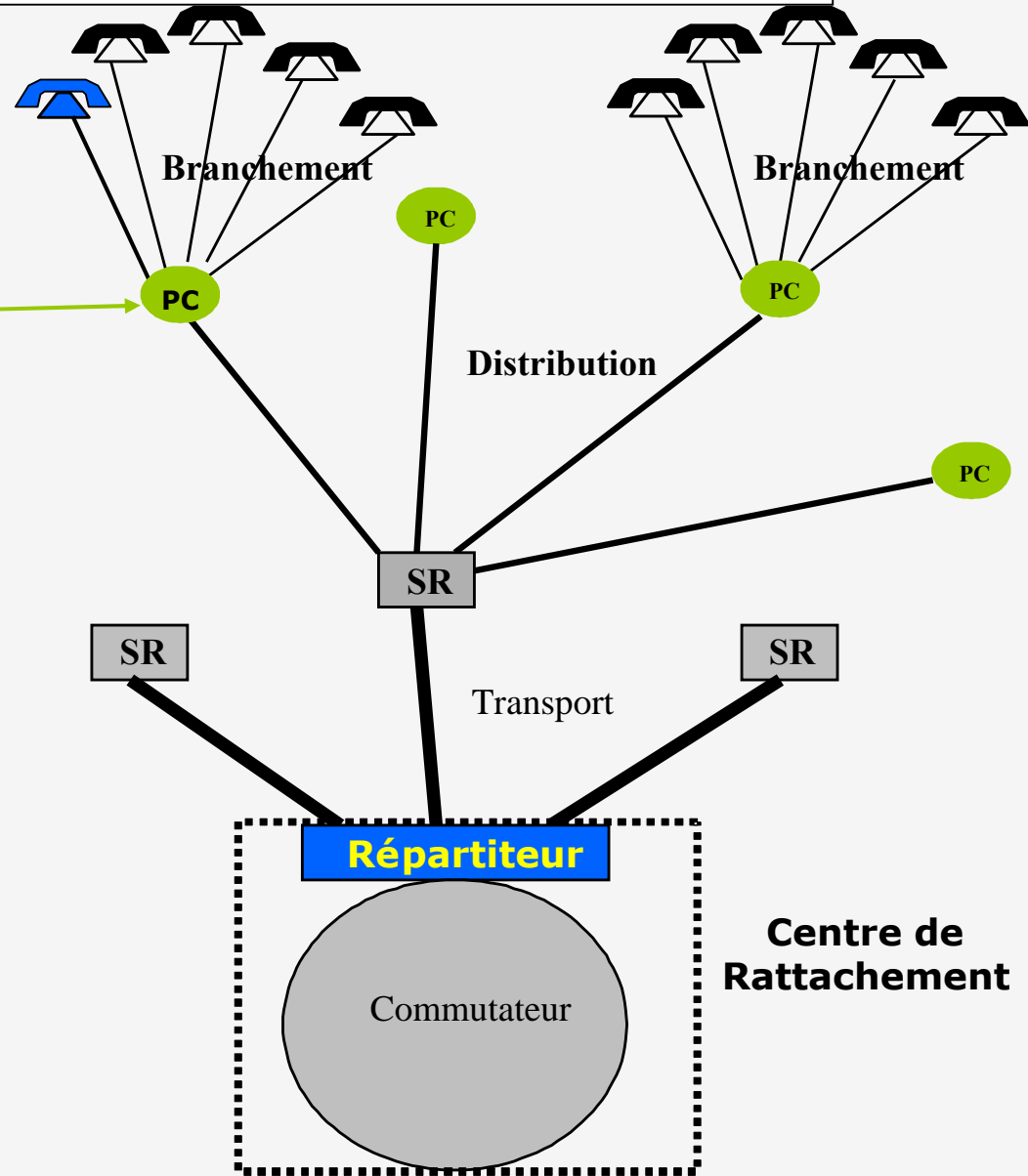
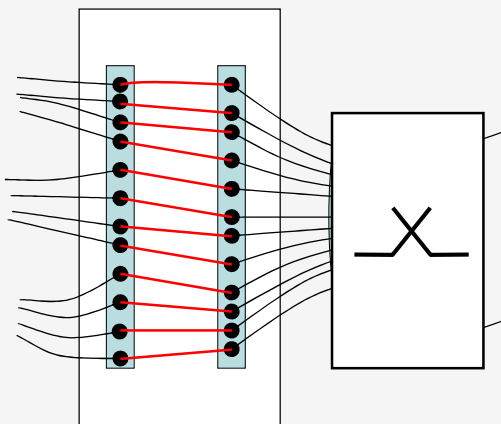


Infrastructure du Réseau local

Point de concentration :

Mini répartiteur permettant de regrouper les lignes individuelles dans un câble de distribution

Petite boîte plastique ou métallique de 14 à 28 paires

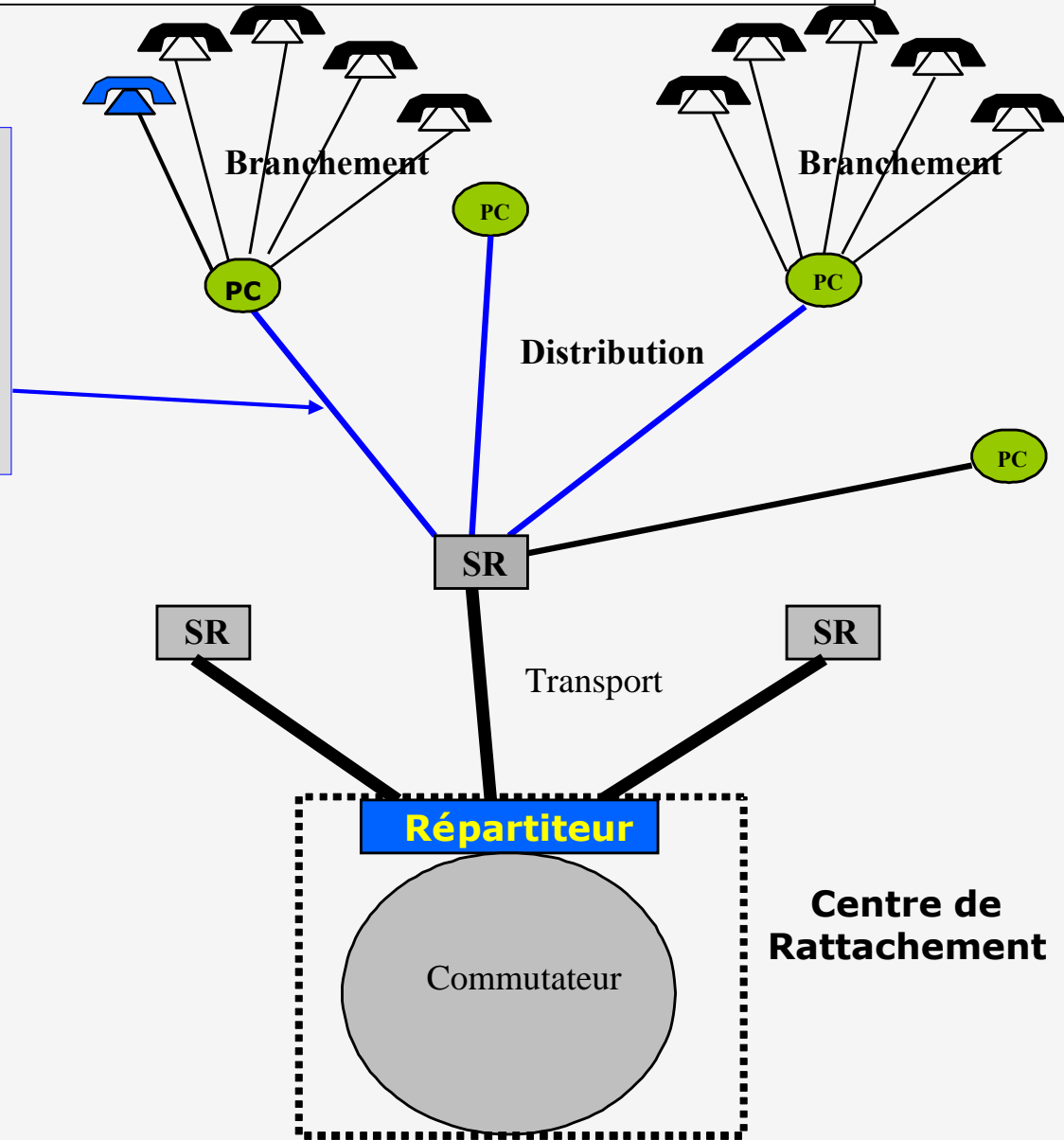


Infrastructure du Réseau local

Câble de Distribution :

Câble de qq. dizaines de paires aérien ou posé en plein terre

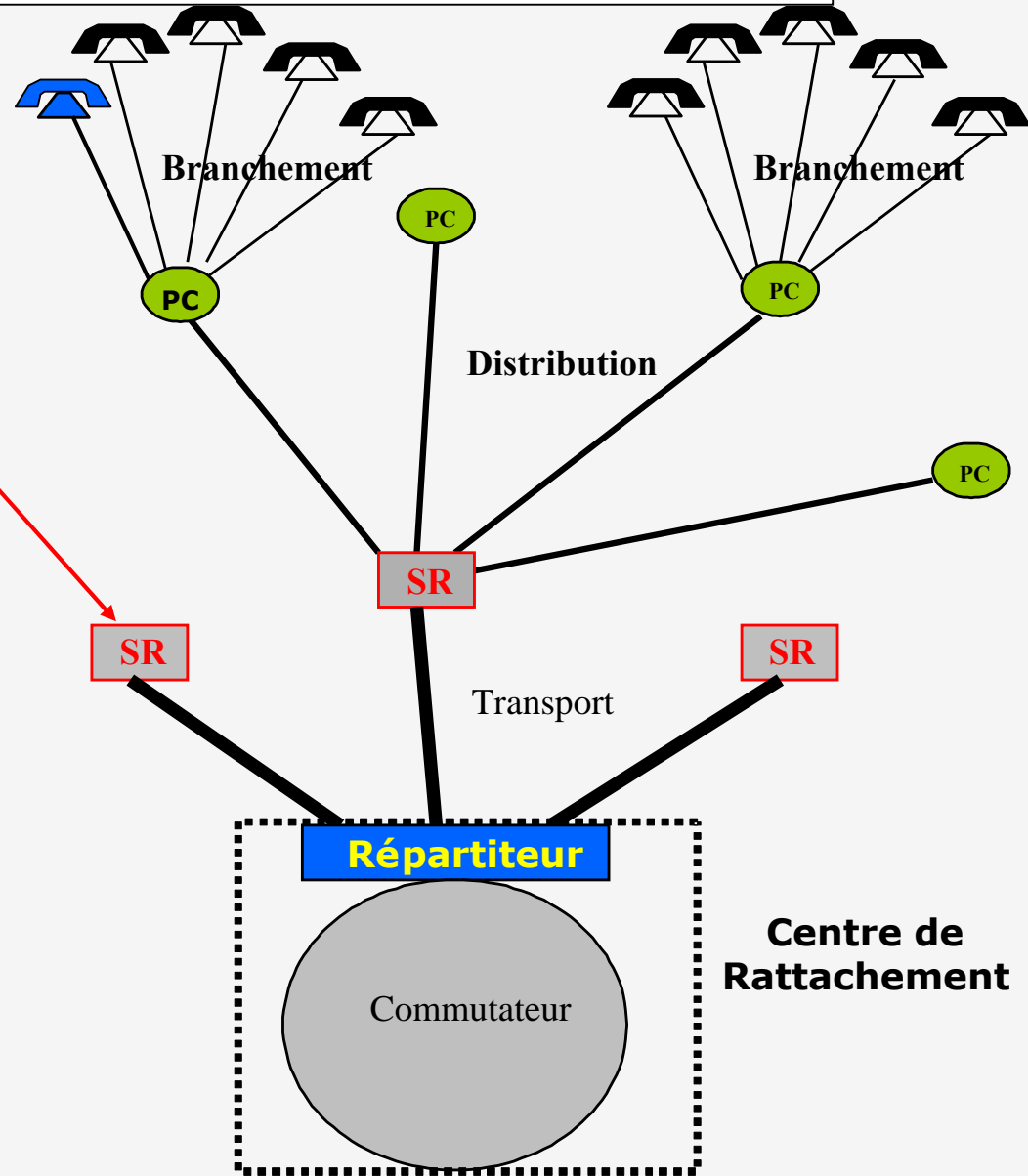
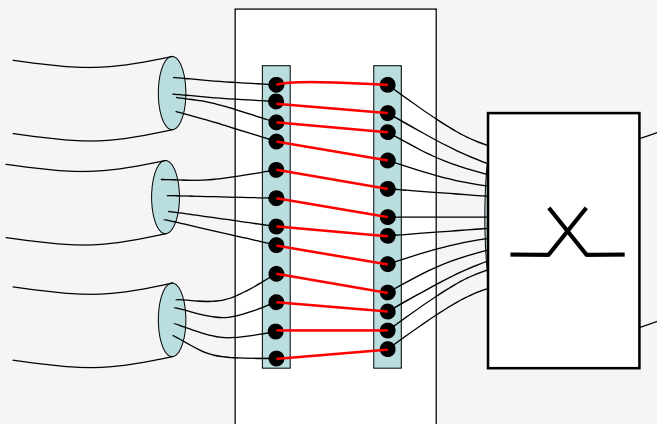
14, 28, 56, ..., 448



Infrastructure du Réseau local

Sous répartiteur :

Bâtis sur le trottoir permettant de brancher les câbles de distribution avec les câbles de transport

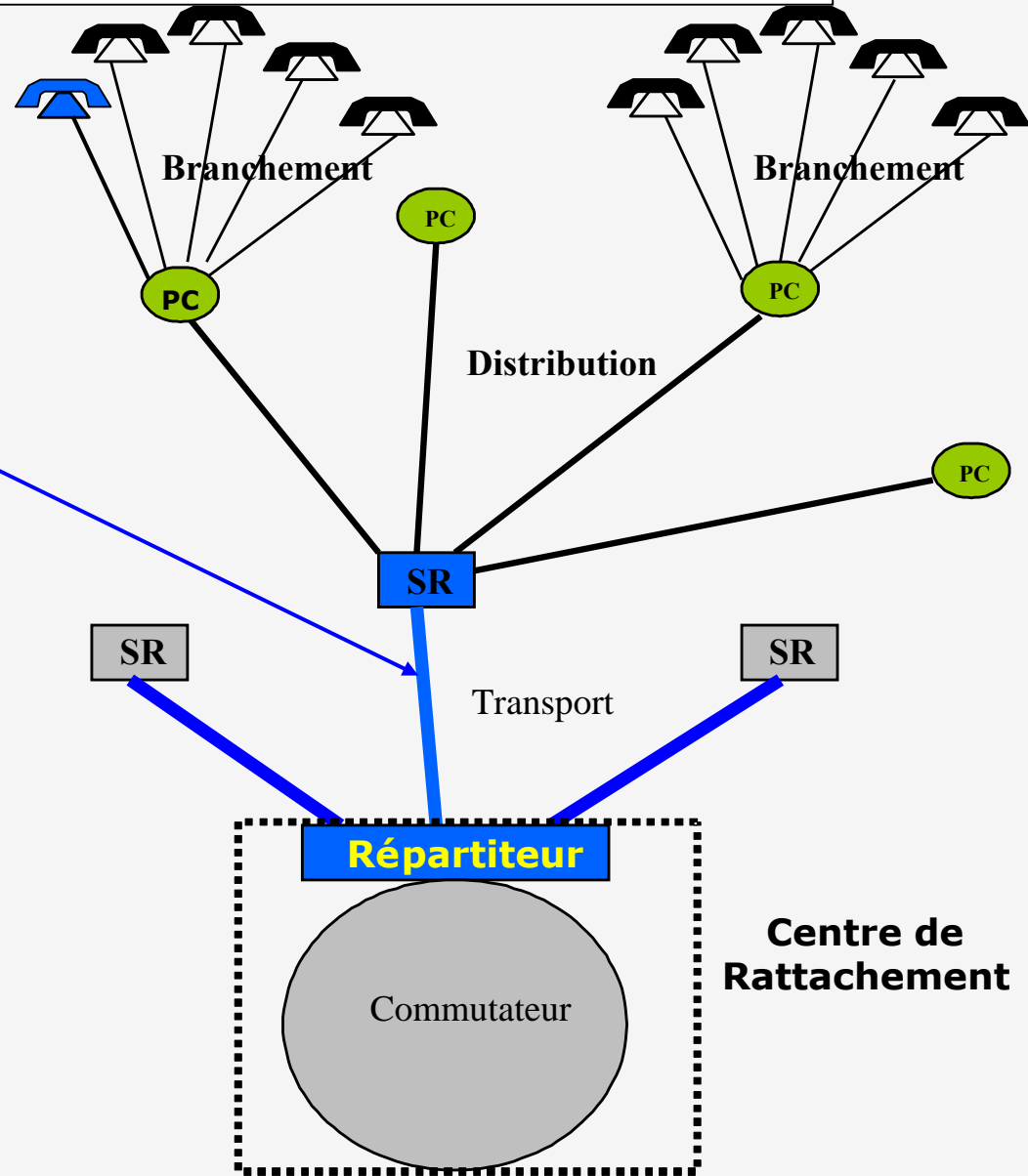


Infrastructure du Réseau local

Câble de transport :

Câble de qq. Centaines de paires placé en caniveau non inondable avec regards de visite

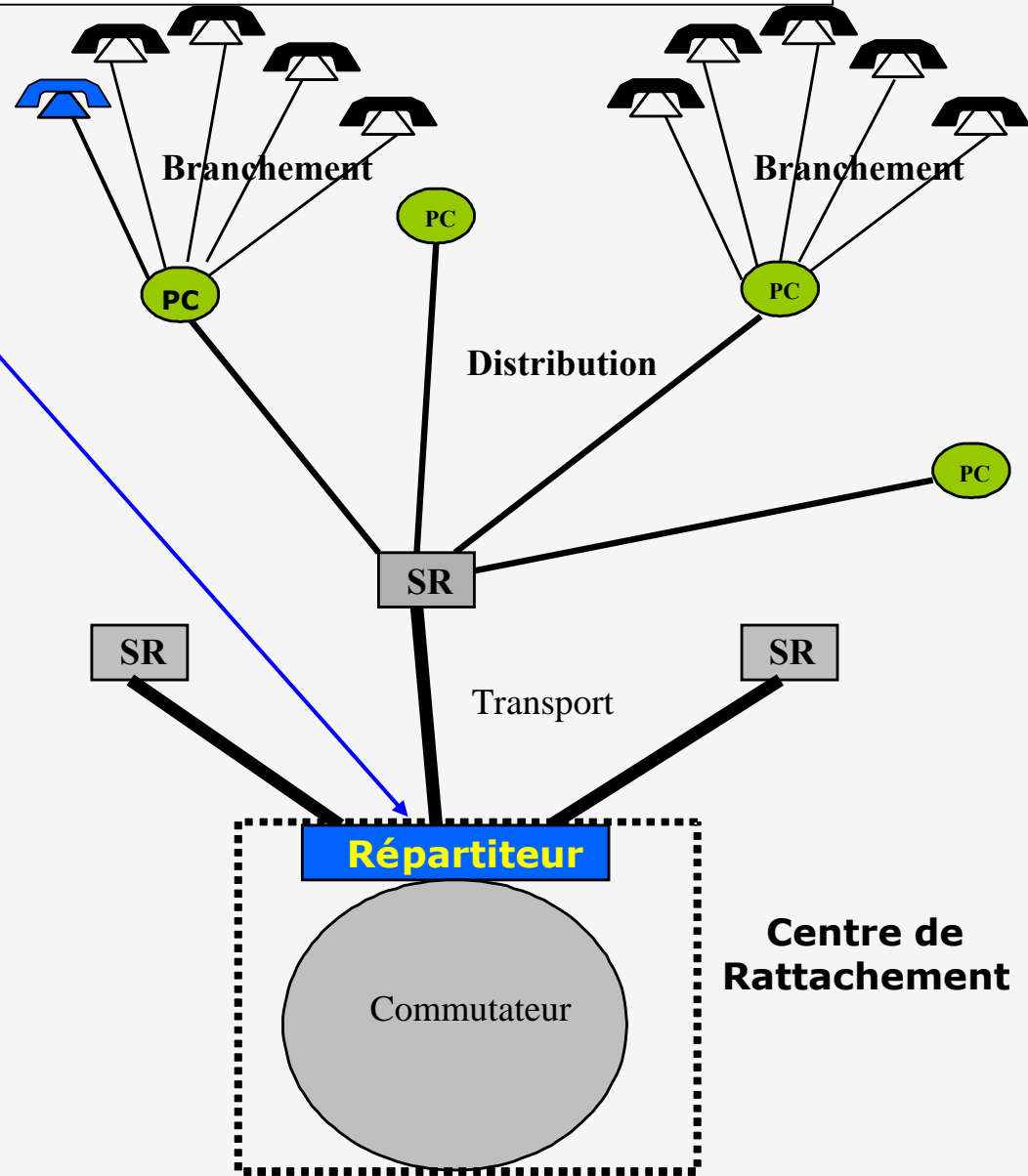
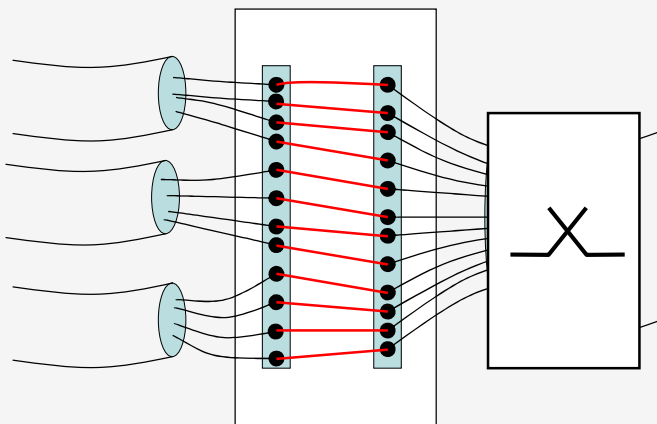
112 à 2688 paires



Infrastructure du Réseau local

Répartiteur Général:

Equipement en sous sol du centre de rattachement permettant de brancher les lignes des câbles de transport avec le commutateur

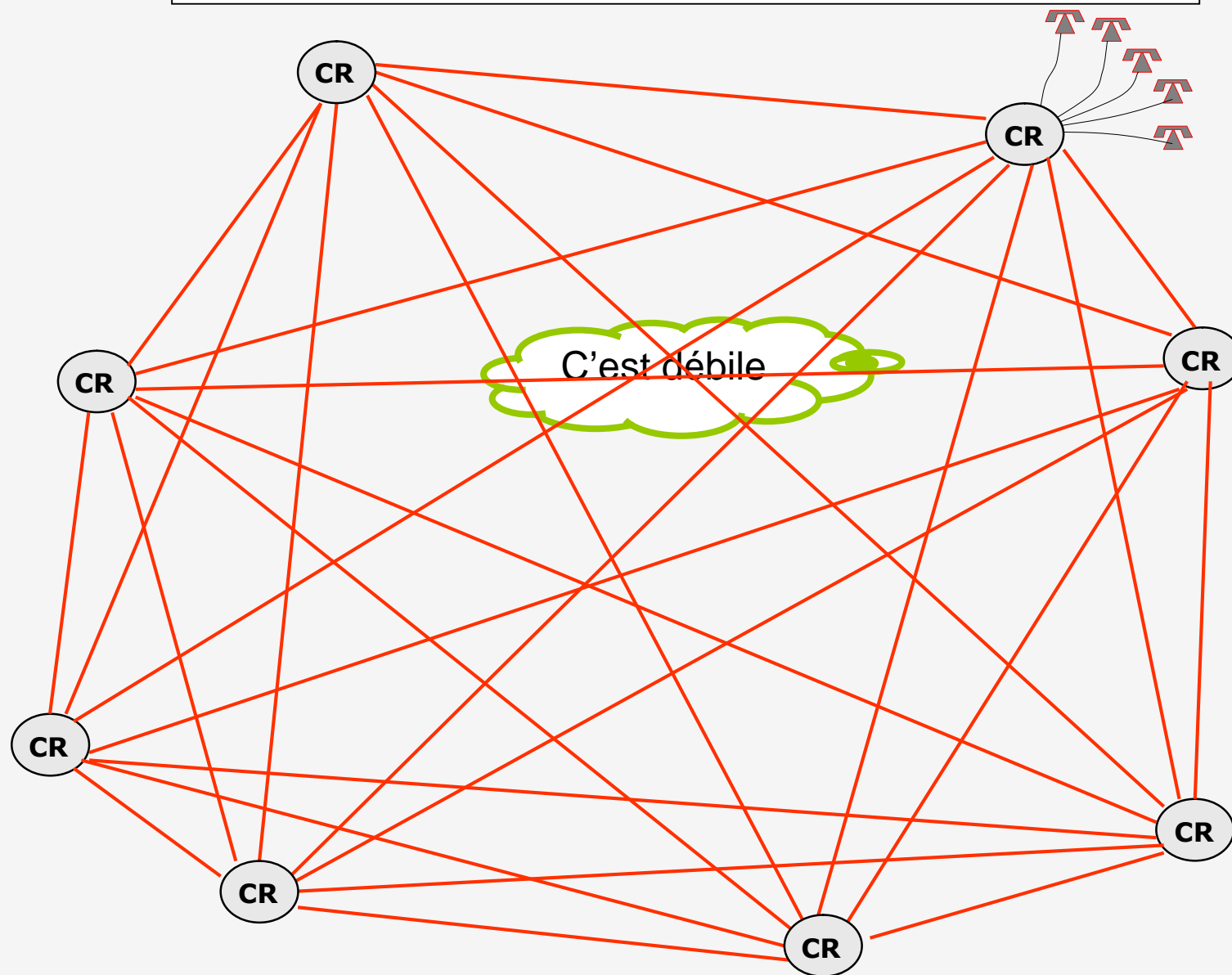


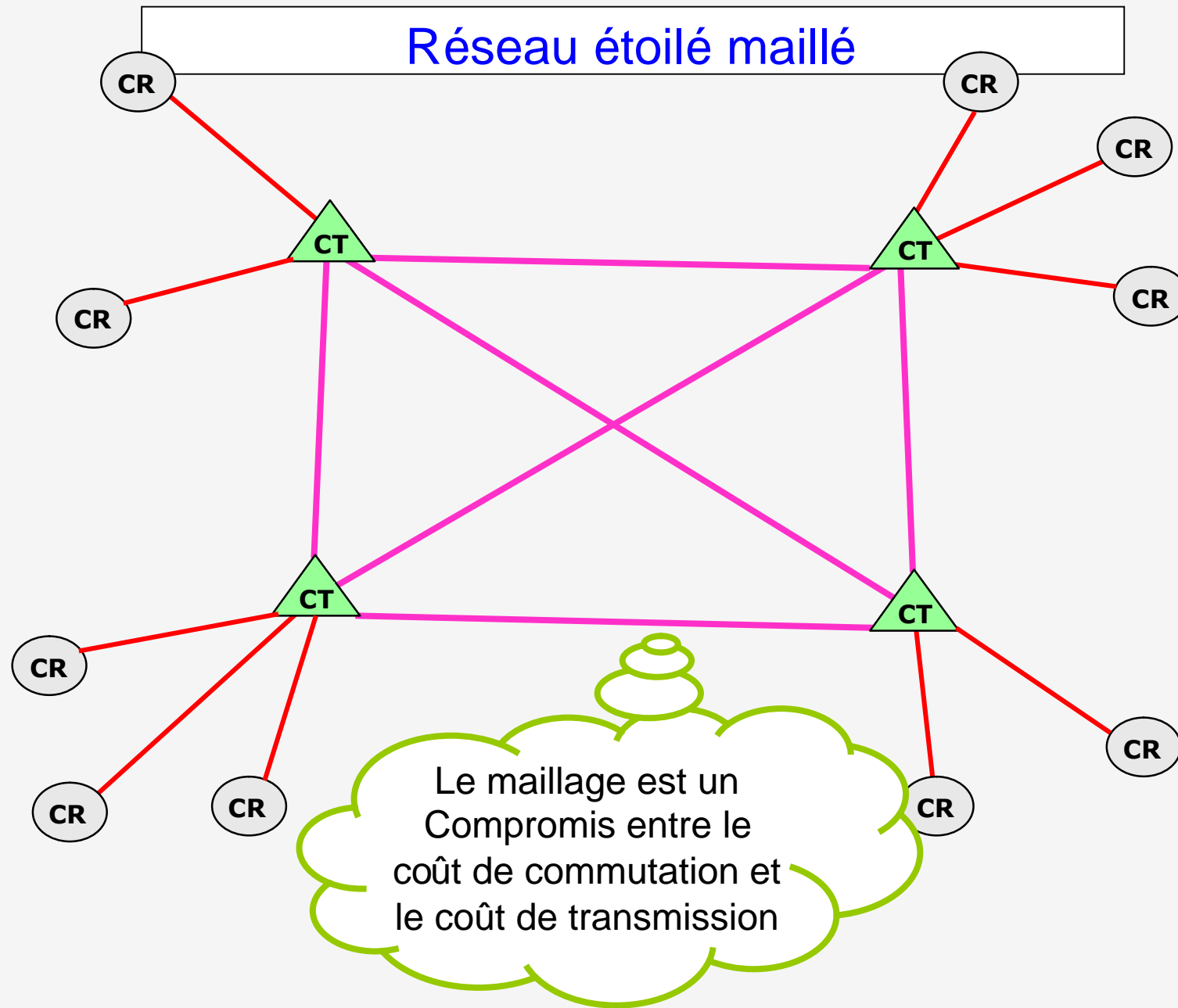
Le Réseau Dorsal (*backbone*)

Le réseau dorsal est constitué :

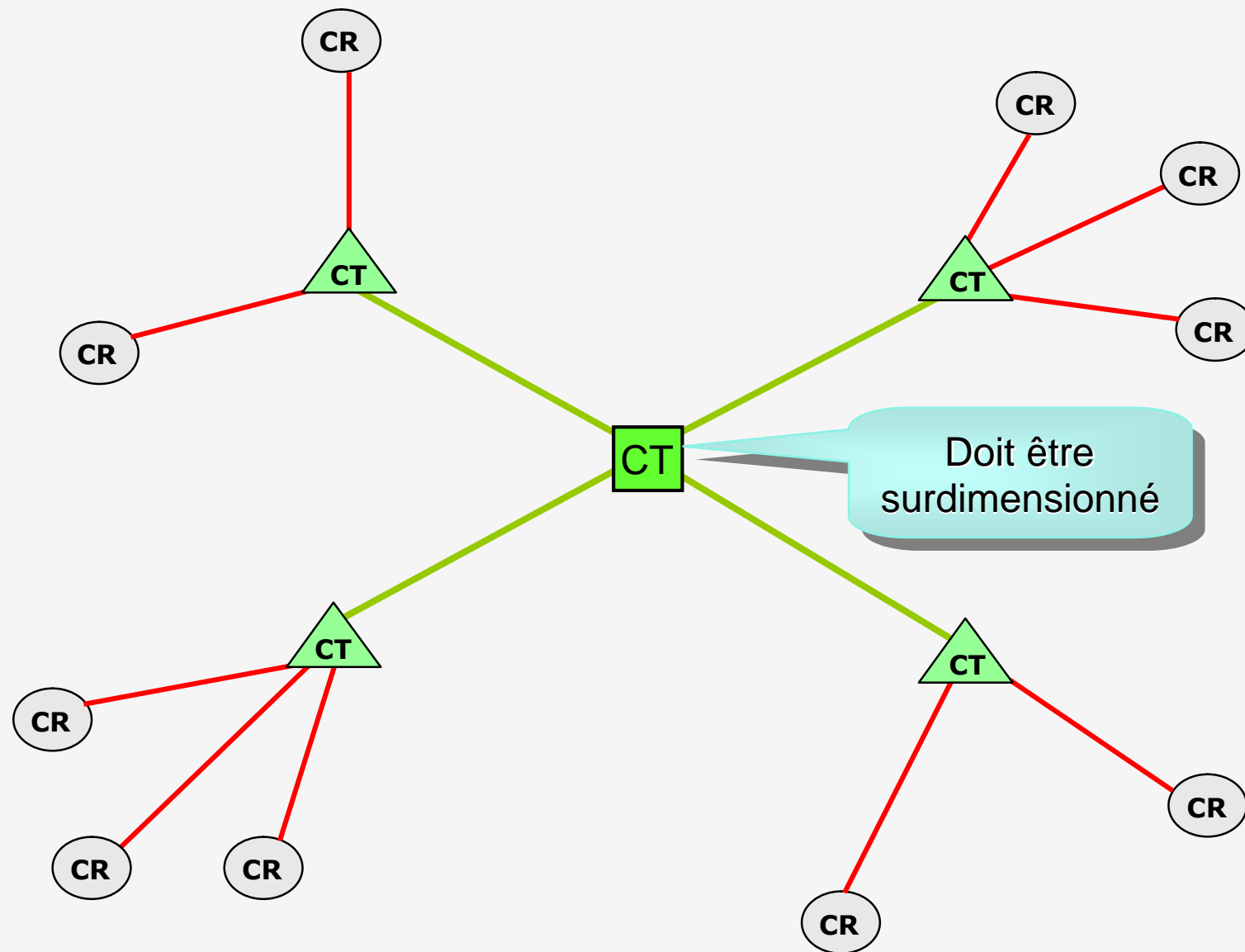
- ❑ des **commutateurs** qui forment les nœuds du réseau
 - ❑ Les **faisceaux de circuits** qui peuvent être de cuivre, Optiques ou Hertziens
- ➔ Le réseau peut avoir des structures très variées

Réseau maillé

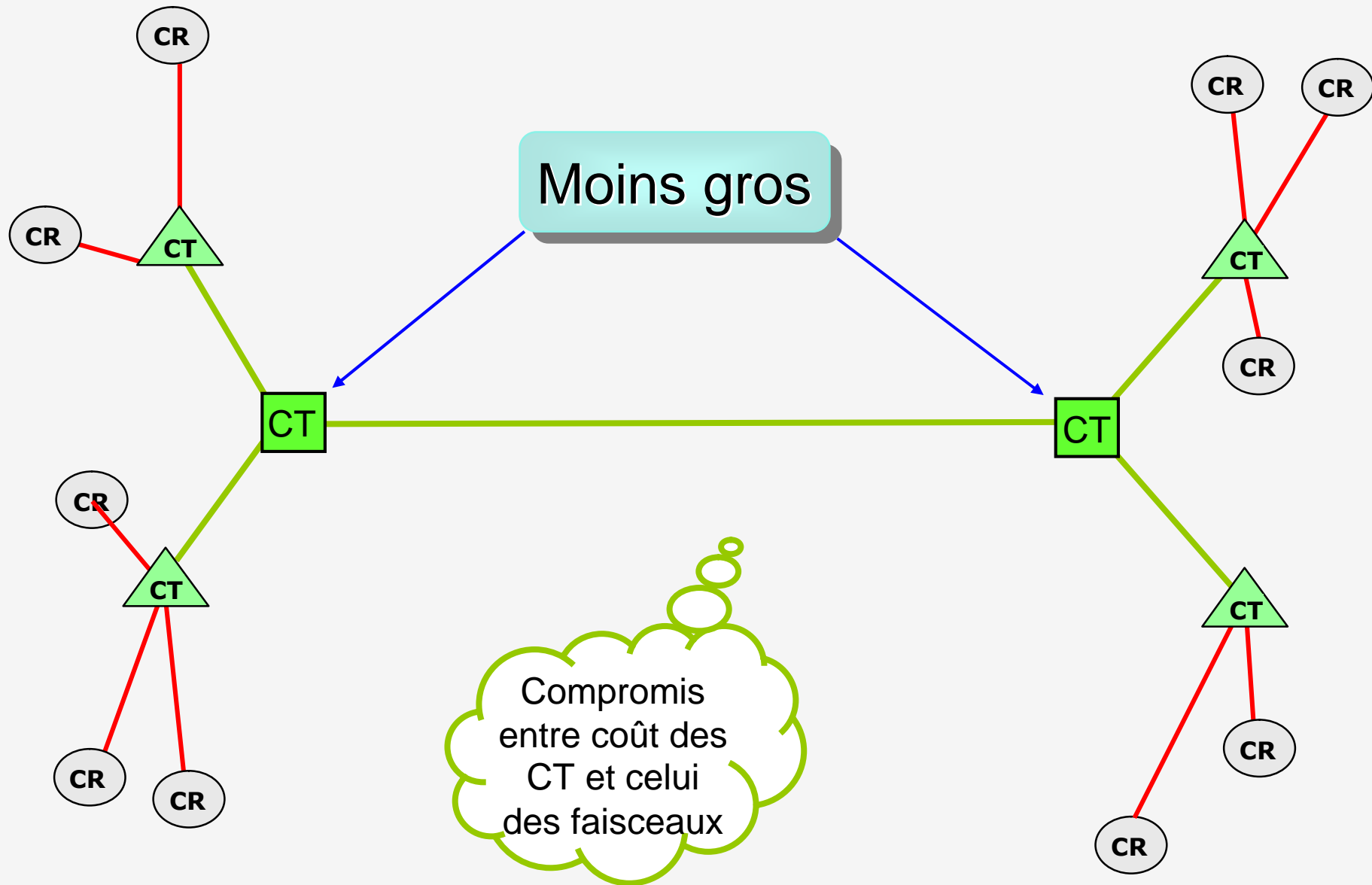




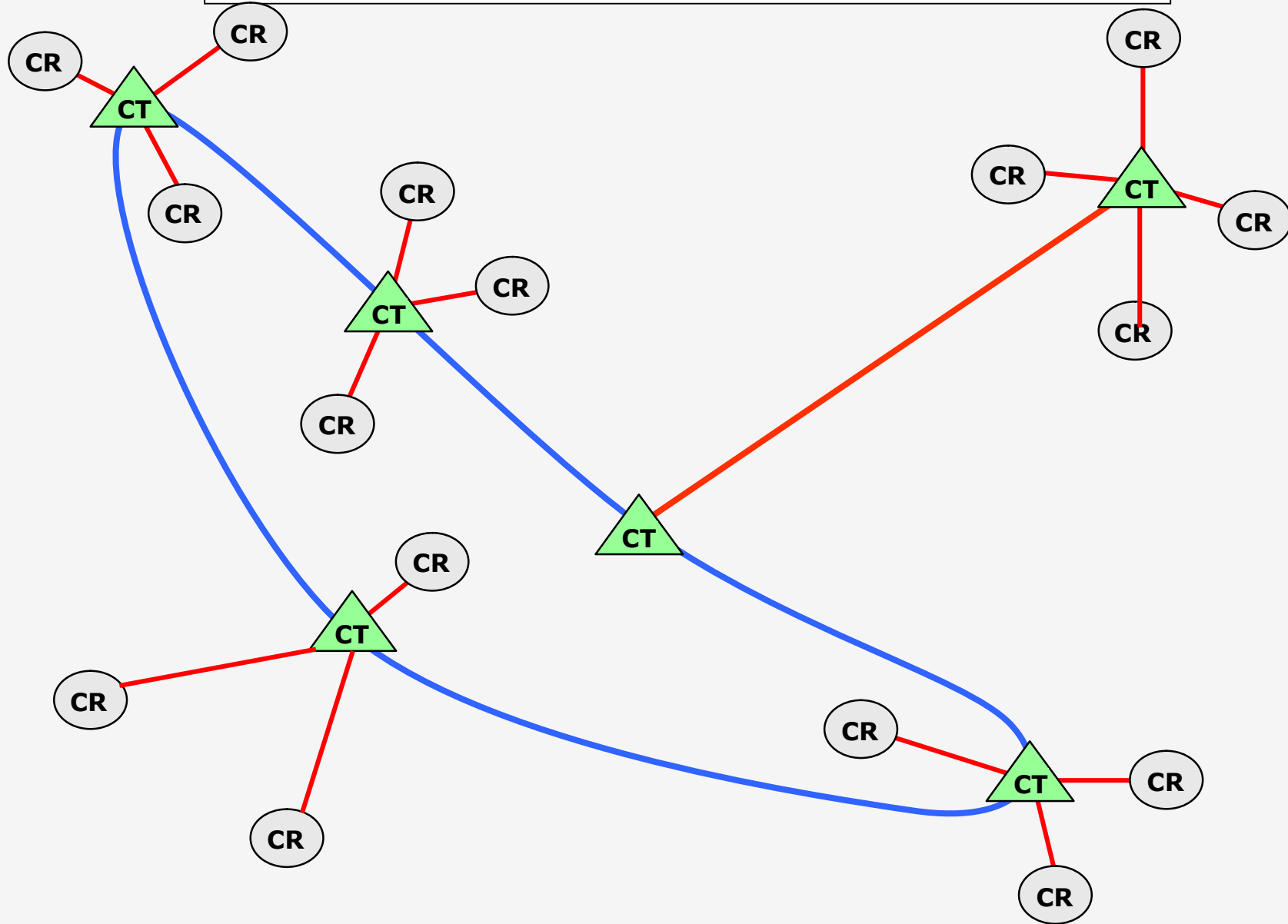
Réseau étoilé



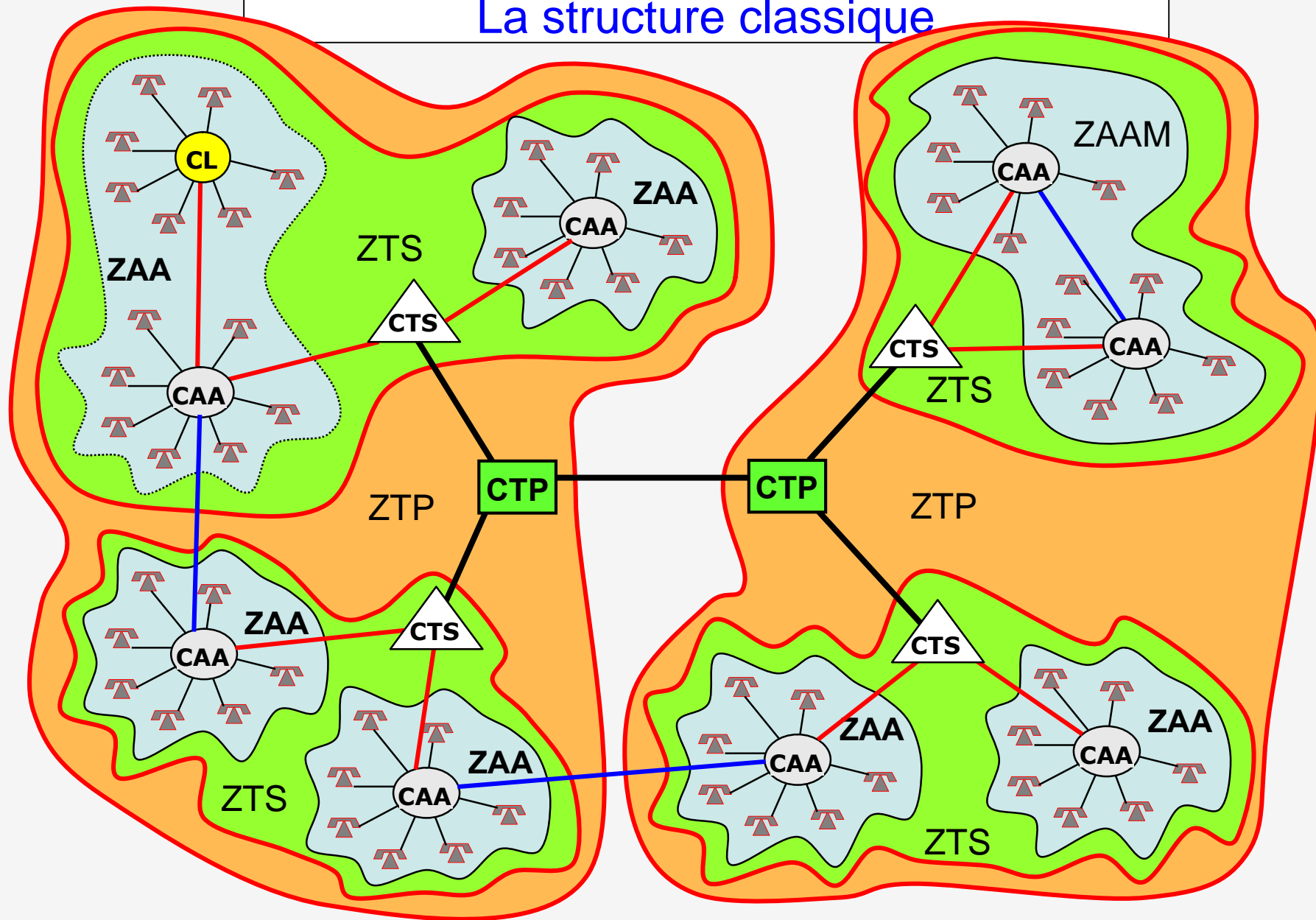
Réseau étoilé (2)



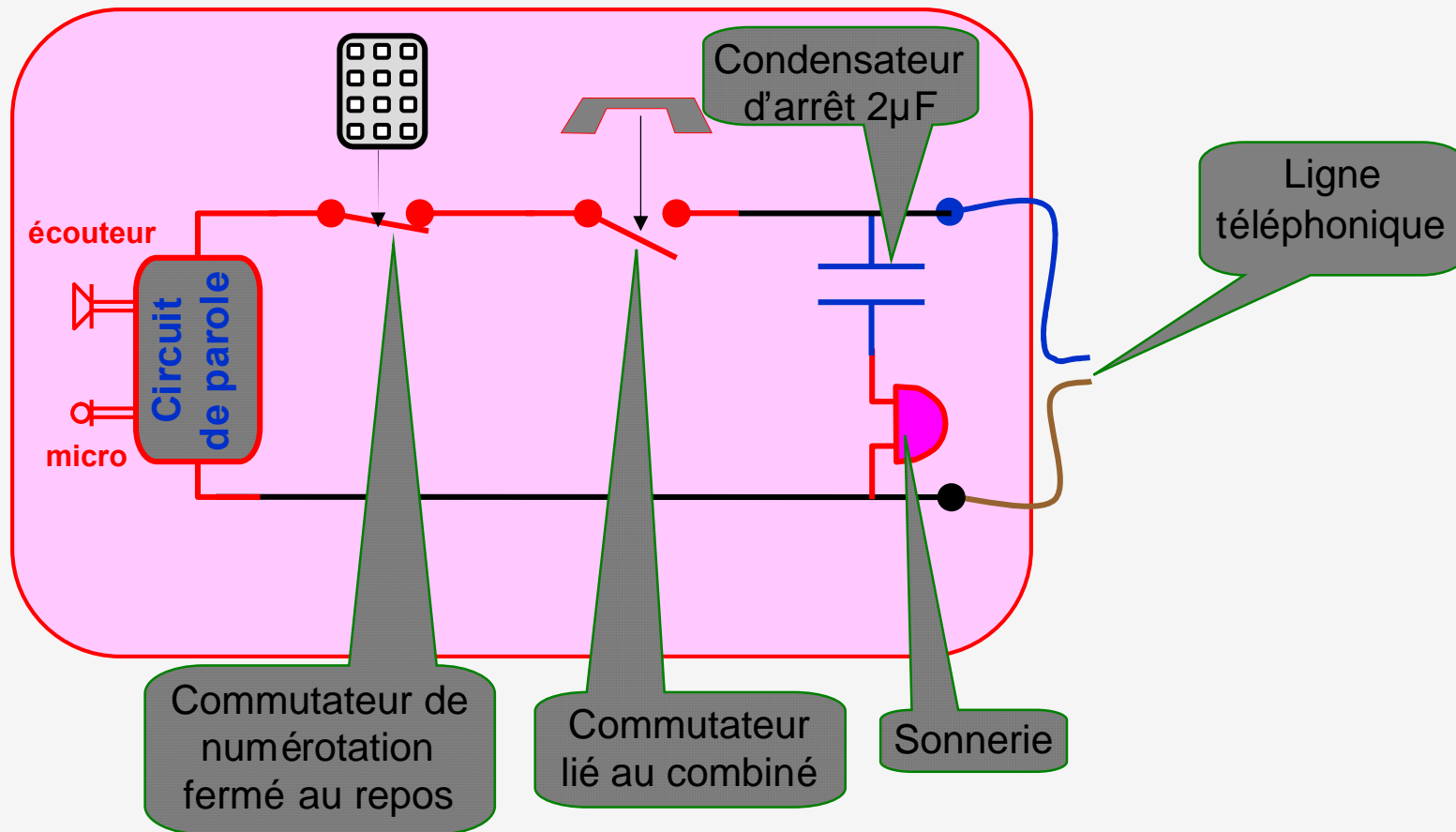
Structure en Anneau SDH



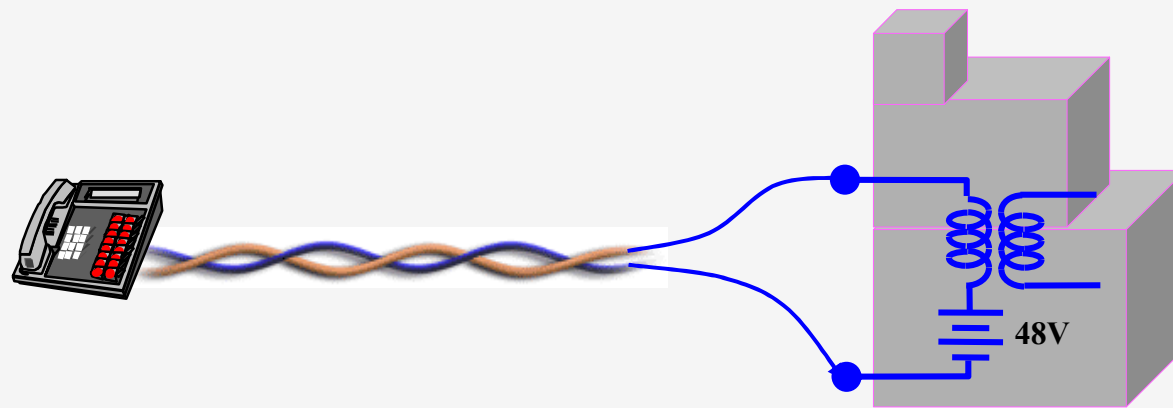
La structure classique



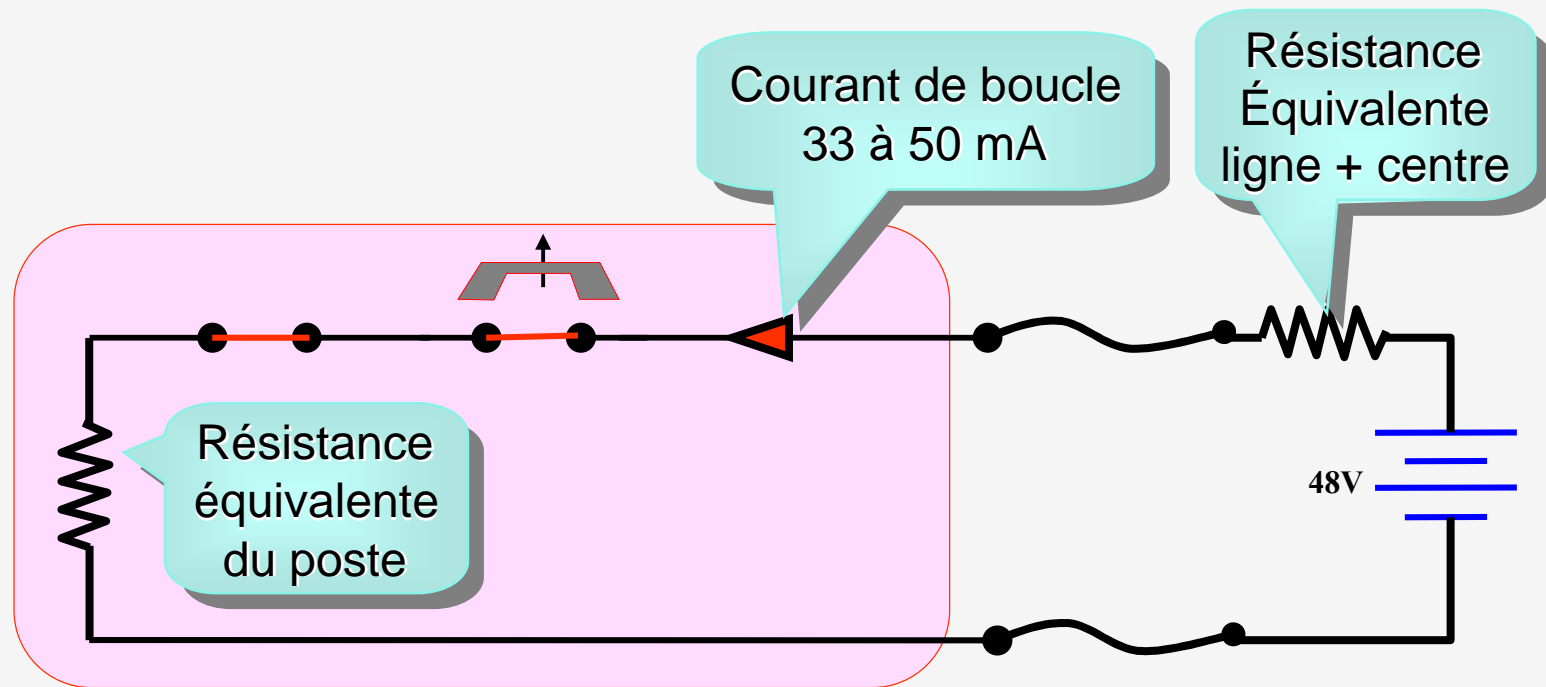
Poste téléphonique



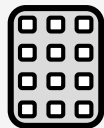
Boucle locale



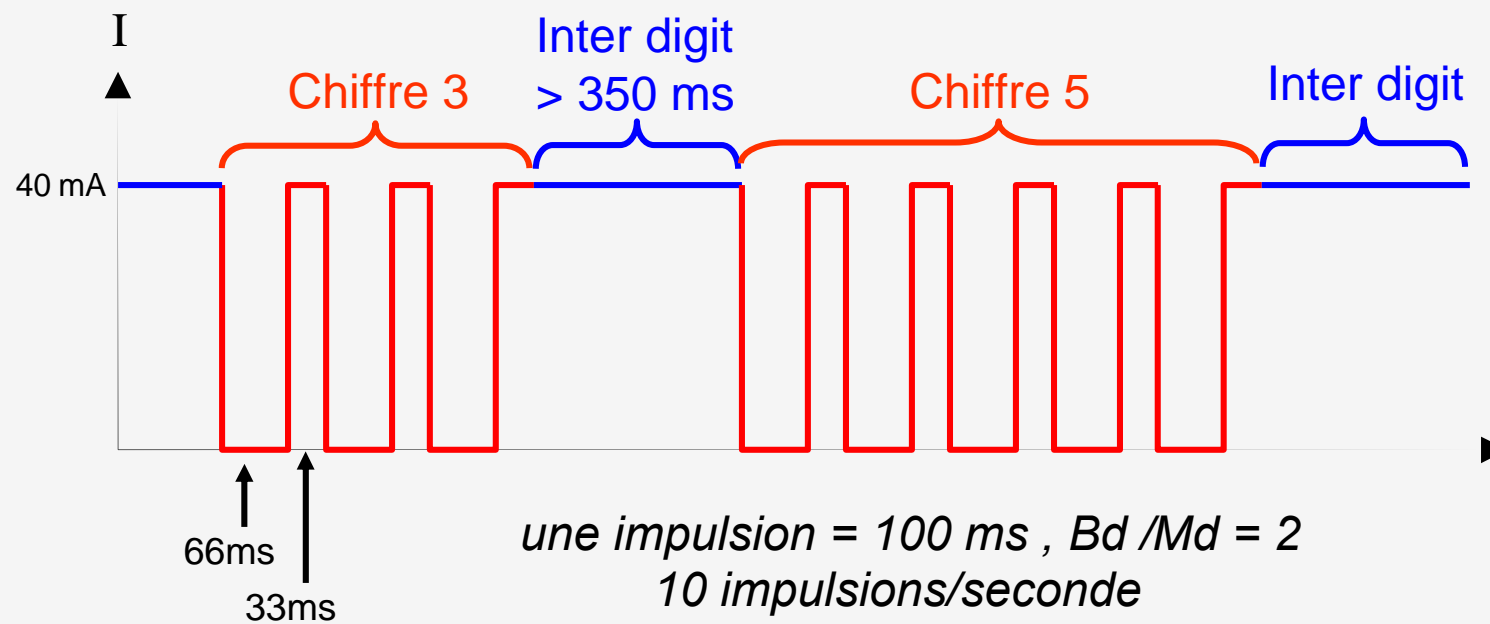
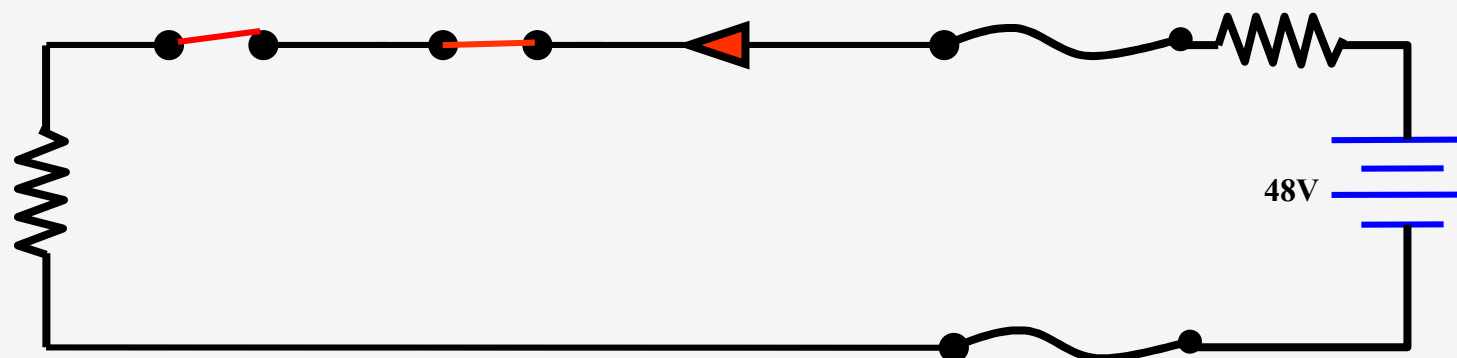
Boucle locale



C'est le courant de boucle qui transportera la voix et la signalisation



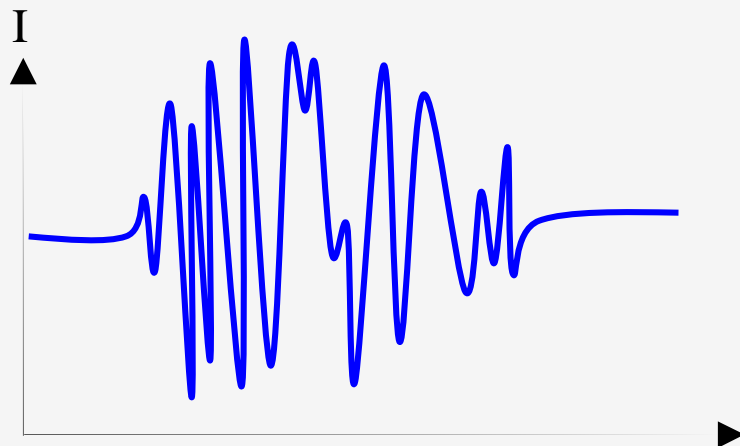
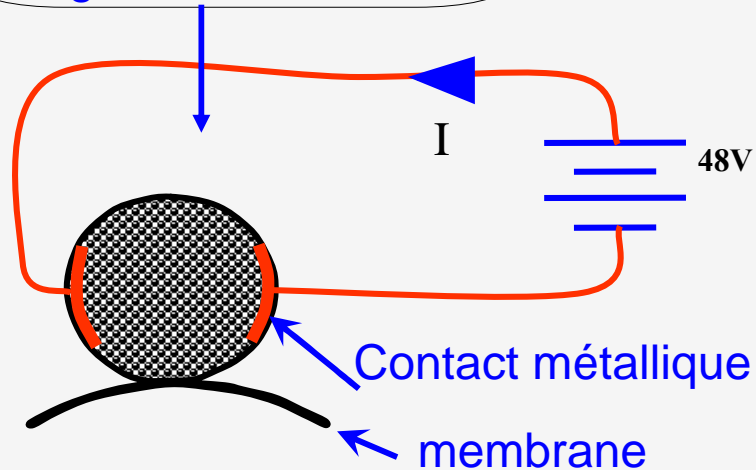
Envoi du numéro (numérotation impulsionnelle)



Envoi de la parole

Microphone à charbon

Boule souple remplie
de grains de charbons

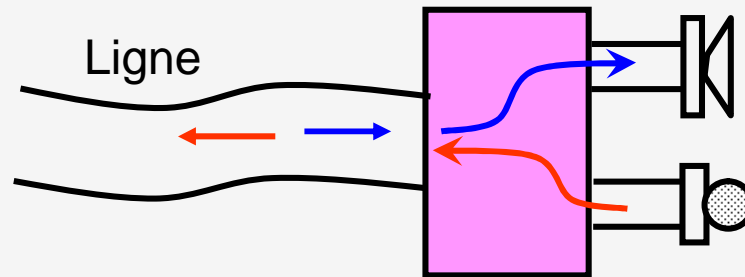


Pour simplifier on suppose que la résistance du microphone est la seule résistance de la boucle locale

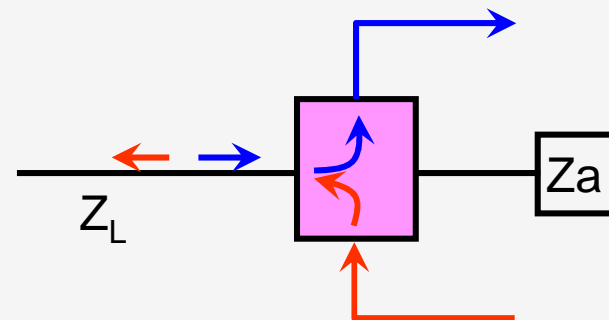
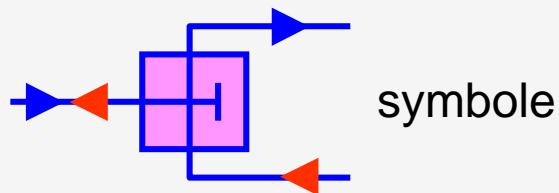
Le fait de **compresser/décompresser** les grains de charbon modifie la résistance de la boucle proportionnellement au mouvement de la membrane qui elle même varie au rythme de la voix. Il en résulte que le courant de boucle varie comme la voix.

Circuit de parole

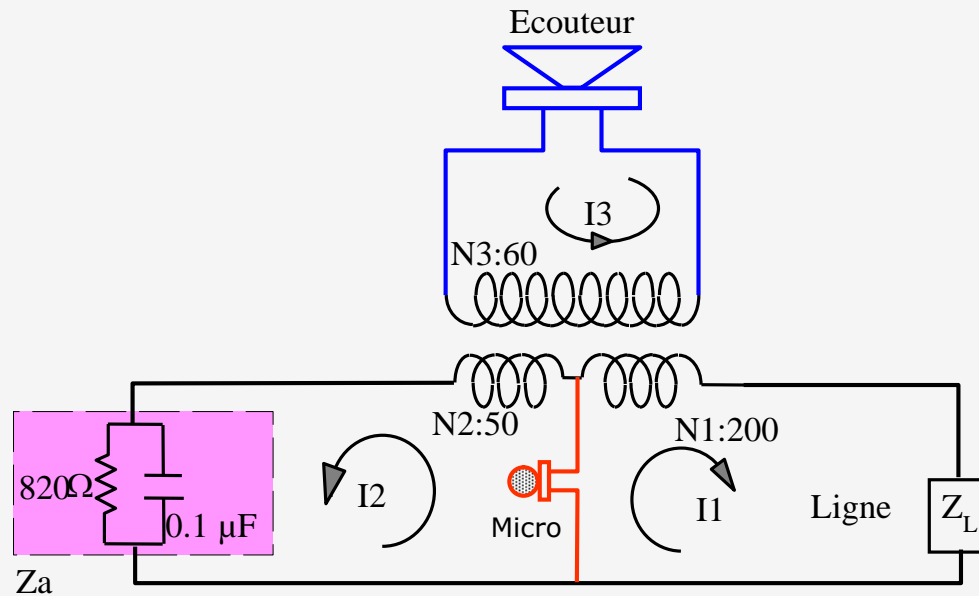
Le circuit de parole réalise l'interface entre la ligne téléphonique (2 fils) et le combiné (4 fils). Les signaux sortant et entrant sont superposés dans la ligne téléphonique. Il faut un circuit pour les séparer : le signal issu du microphone doit aller vers la ligne et le signal arrivant de la ligne doit aller vers l'écouteur.



On utilise un transformateur différentiel avec 4 accès. Si une ferme une entrée avec l'impédance de l'entrée opposée ($Z_a = Z_L$), on obtient le fonctionnement illustré.



Exemple de bobine d'adaptation



Micro \Rightarrow I_1 et I_2

$$I_1 = \frac{V_m}{Z_L}, \quad I_2 = \frac{V_m}{Z_a}$$

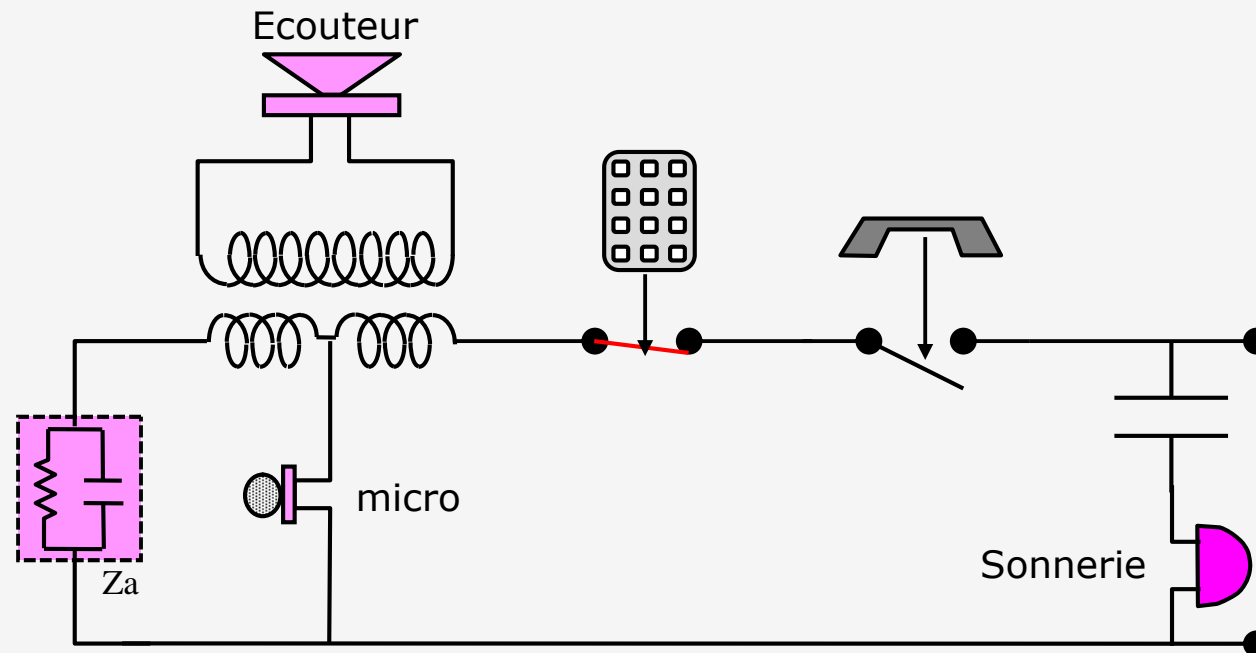
$$I_1 \text{ et } (N_1, N_3) \Rightarrow I_{31} = \frac{N_1}{N_3} I_1$$

$$I_2 \text{ et } (N_2, N_3) \Rightarrow I_{32} = \frac{N_2}{N_3} I_2$$

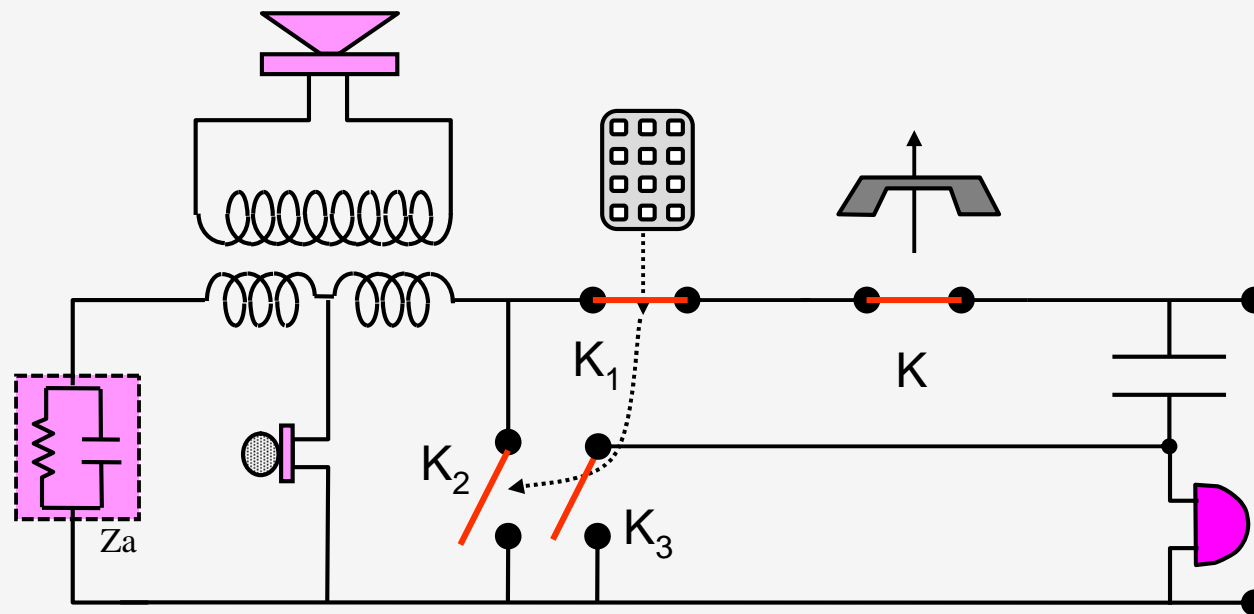
Les enroulement N_1 et N_2 sont fait de sorte à ce que I_{31} et I_{32} soient en opposition de phase. Pour que le système soit adapté il faut que le courant résultant I_3 soit nul, c'est-à-dire $I_{31} = I_{32}$

$$\frac{N_1}{N_3} \frac{V_m}{Z_L} = \frac{N_2}{N_3} \frac{V_m}{Z_a} \Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{Z_L}{Z_a}$$

Schéma simplifié du poste téléphonique



Poste téléphonique avec antiparasite

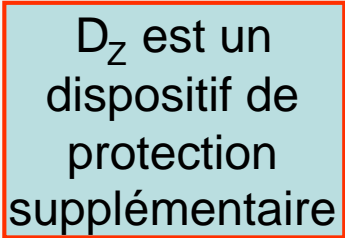


A l'ouverture de K_1 , I passe brutalement à 0, Une force contre électromotrice génère une **surtension** très importante aux bornes de la bobine d'un coté et de la ligne de l'autre.

Cette tension crée des parasites très gênants à l'écoute, et elle peut **détruire les composants du circuit de parole**.

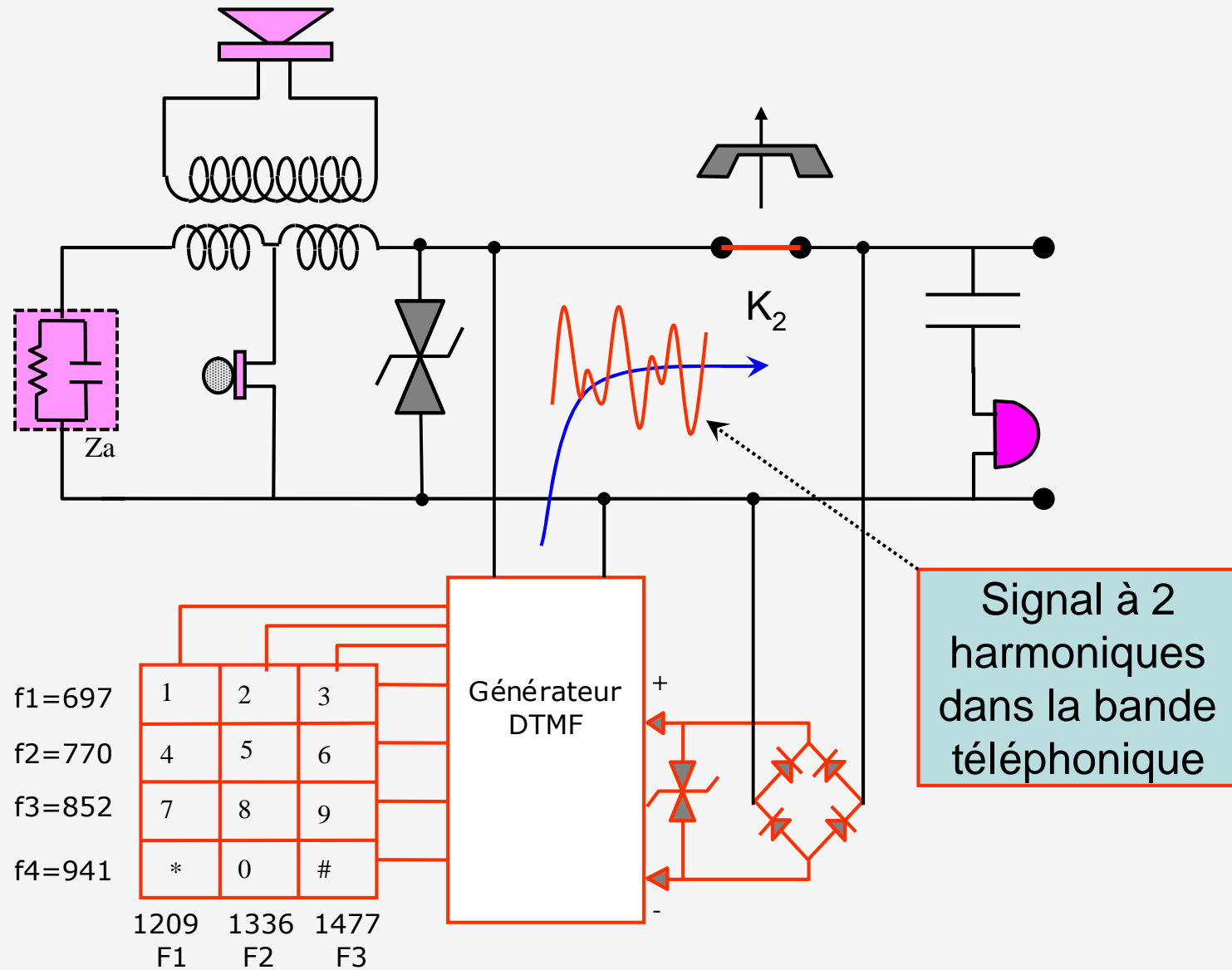
K_2 et K_3 fonctionnent en **opposition** avec K_1 , ils se ferment chaque fois que K_1 s'ouvre. K_2 **protège** le circuit de parole contre les surtensions et K_3 empêche la sonnerie de fonctionner lors de la numérotation

Le clavier et la numérotation impulsione

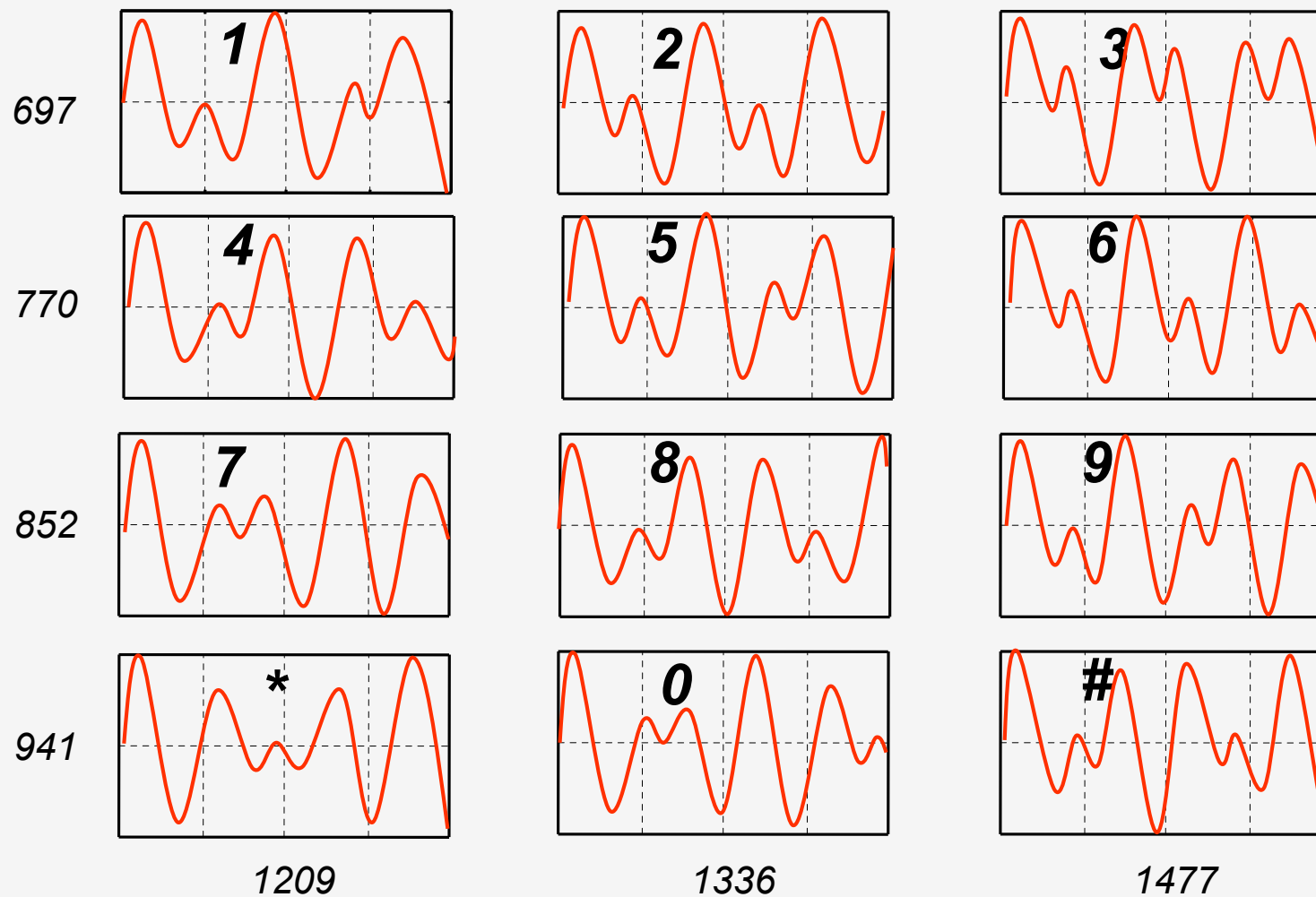


K1 et K3 sont
des
interrupteurs
électroniques

Poste à numérotation fréquentielle



Signaux DTMF



La ligne Téléphonique



La question qui nous intéresse est : On injecte un signal V_e au bout d'une ligne, à quoi ressemble le signal qu'on récupère de l'autre côté ?

Une ligne a des caractéristiques **Résistives**, **capacitives** et **selfiques**, donc :

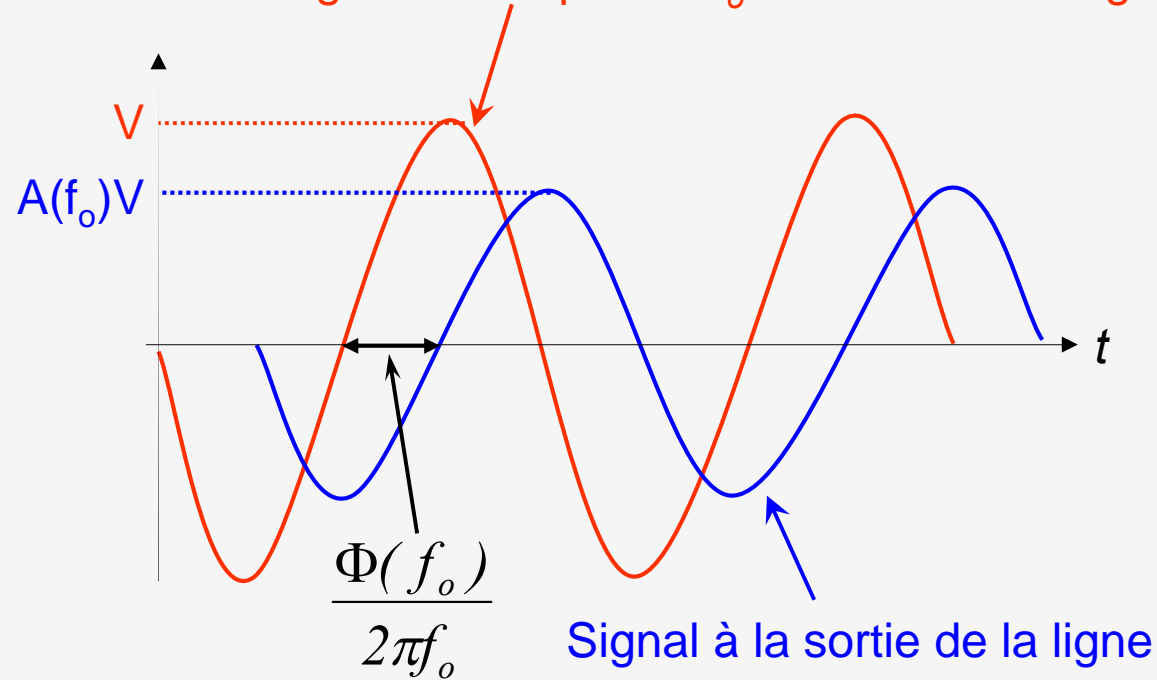
LIGNE = FILTRE = Fonction de transfert complexe $F(j\omega)$

$$F(j\omega) = A(\omega)e^{j\Phi(\omega)}$$

$F(j\omega)$ { Module **$A(f)$** nous informe comment le signal est atténué
Phase **$\Phi(f)$** nous informe comment le signal est déphasé

Atténuation et déphasage d'un harmonique dans une ligne

Signal de fréquence f_o à l'entrée de la ligne

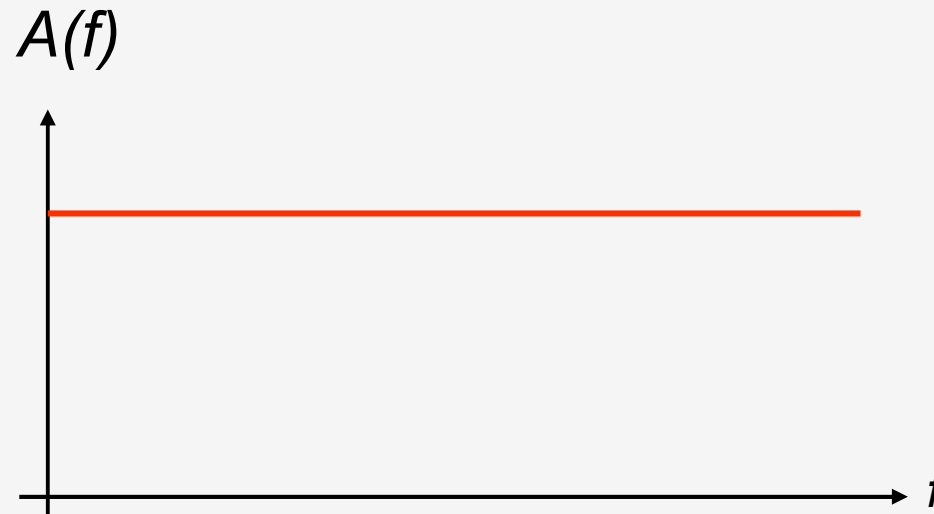


$$\Phi_{radian} = 2\pi f_o \theta_{secondes}$$

Distorsion d'amplitude

Pour qu'une ligne ne provoque pas la distorsion d'amplitude du signal qui la traverse, il faut que tous les harmoniques constituant le signal soit atténués de la même façon, Pour cela, il faut que le module A de la fonction de transfert soit indépendant de la fréquence

$$A(f) = C^{te}$$

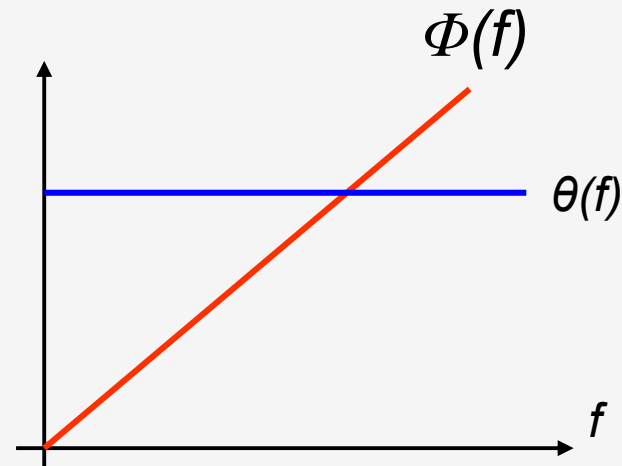


Distorsion de phase

Pour qu'une ligne ne provoque pas la distorsion de phase du signal qui la traverse, il faut que tous les harmoniques constituant le signal subissent le même retard en traversant la ligne. Pour cela, il faut que la phase Φ de la fonction de transfert varie linéairement avec la fréquence

$$\theta(f) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\Phi}{df}$$

$$\Phi(f) = Kf \rightarrow \theta(f) = C^{te}$$

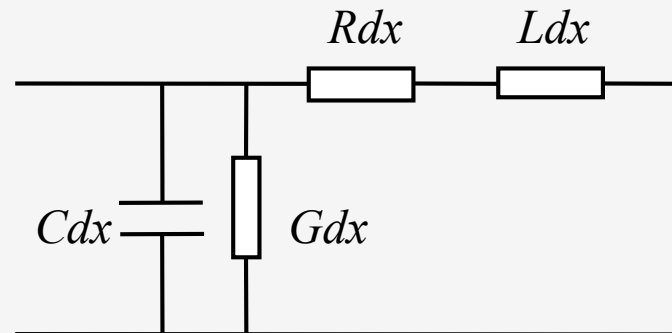


Objectif

*Notre objectif est donc de déterminer le **module** et la **phase** de la fonction de transfert et de voir à quoi ils ressemblent*

Paramètre primaire d'une ligne

- R : Résistance linéique (Ω/km)
- L : Inductance linéique (mH/km)
- C : Capacité linéique (nF/km)
- G : Perdite linéique ($\text{M}\Omega/\text{km}$),
 $G = \omega C \tan \delta$, avec δ = angle de perte du diélectrique



Fonction de transfert d'une ligne

Une ligne de transmission est caractérisé par son coefficient de propagation :

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

α : est le coefficient d'atténuation

β : est le coefficient de déphasage

La fonction de transfert de la ligne est :

$$F = e^{-\gamma} = e^{-\alpha - j\beta} = e^{-\alpha} e^{-j\beta}$$

$$\begin{cases} \text{Module : } A = e^{-\alpha} \\ \text{Phase : } \Phi = \beta \end{cases}$$

Coefficient de propagation en fonction des paramètres primaires

On démontre que :

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

Il n'est pas possible de décomposer l'expression de γ sous forme $\alpha + j\beta$ afin de faire des investigations sur le module et la phase de la fonction de transfert

Comportement asymptotique

On supposant que la perdittance est négligeable, essayons de trouver des hypothèses de simplification qui nous permettent de décomposer l'expression de γ

❖ $R \gg \omega L$ (Vraie en basse fréquence)

$$\gamma = \sqrt{j\omega RC} = \sqrt{\frac{1}{2}\omega RC} + j\sqrt{\frac{1}{2}\omega RC}$$

$$\alpha = \sqrt{\pi RCf}$$

$$\beta = \sqrt{\pi RCf}$$

En basse fréquence, c'est-à-dire dans la bande téléphonique, Les coefficient α et β varient comme \sqrt{f} , on aura donc une distorsion d'affaiblissement et de phase. Tous les harmoniques ne sont ni atténués ni déphasés de la même façon

Comportement asymptotique (2)

❖ $\omega L \gg R$ (Vraie en haute fréquence)

$$\gamma = \sqrt{-\omega^2 LC + j\omega RC} = j\omega\sqrt{LC} \sqrt{1 - j\frac{R}{\omega L}} \approx j\omega\sqrt{LC} \left(1 - j\frac{R}{2\omega L}\right)$$

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$\beta = 2\pi \sqrt{LC} f$$

En **haute fréquence**, le coefficient d'affaiblissement α est indépendant de f , il n'y a pas de distorsion d'amplitude.

Le coefficient de déphasage β croît linéairement avec f , il n'y a donc pas de distorsion de phase.

La ligne apparaît donc comme un milieu de transmission idéal en haute fréquence, malheureusement, d'autres phénomènes néfastes vont apparaître comme l'effet de peau et la diaphonie

simulation

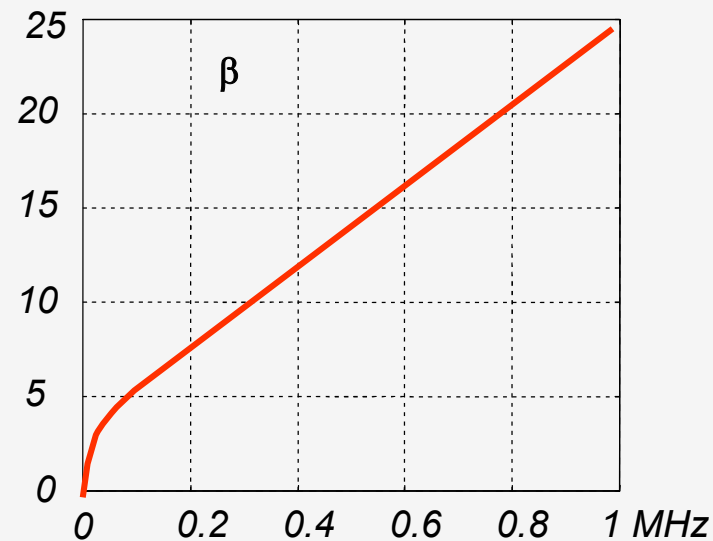
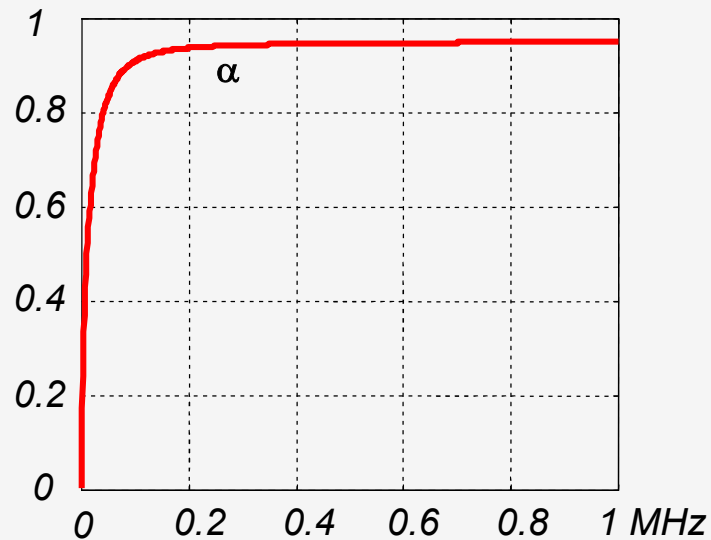
$R \approx 267 \, \Omega/\text{km}$ (cuivre, 0.4 mm, 10 °C)

$C \approx 35 \, \text{nF}/\text{km}$, (quel que soit le diamètre des conducteurs)

$L \approx 0.7 \, \text{mH}/\text{km}$ (quel que soit le diamètre des conducteurs)

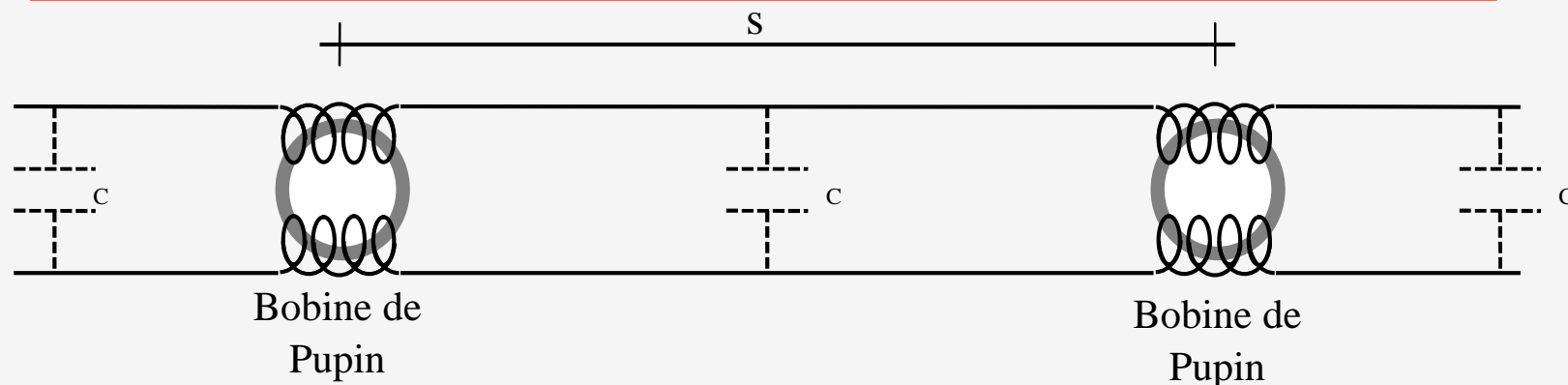
$\text{tg}\delta \approx 2.10^{-4}$ quelle que soit la fréquence (polyéthylène et polystyrène)

En utilisant un logiciel capable de manipuler les variables complexes, on peut tracer les courbes ci-dessous qui confirment les comportements asymptotiques étudiés auparavant

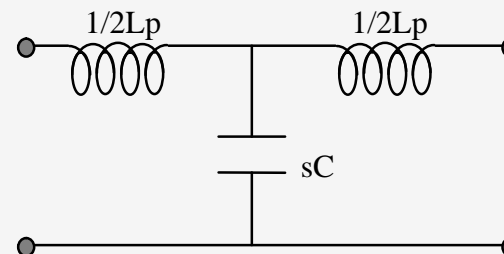


Pupinisation d'une paire symétrique

En **basse fréquence** la seule solution pour vérifier $\omega L \gg R$ est d'augmenter la valeur de L . Pupin eut l'idée simple d'insérer dans la ligne des bobines d'induction discrètes à intervalles réguliers pour augmenter son inductance linéique. On parle alors de ligne **Pupinisée** ou de ligne **chargée**



Une ligne chargée se comporte comme une suite de filtres passe bas. Il faut que leur fréquence de coupure soit supérieure à 3400 Hz



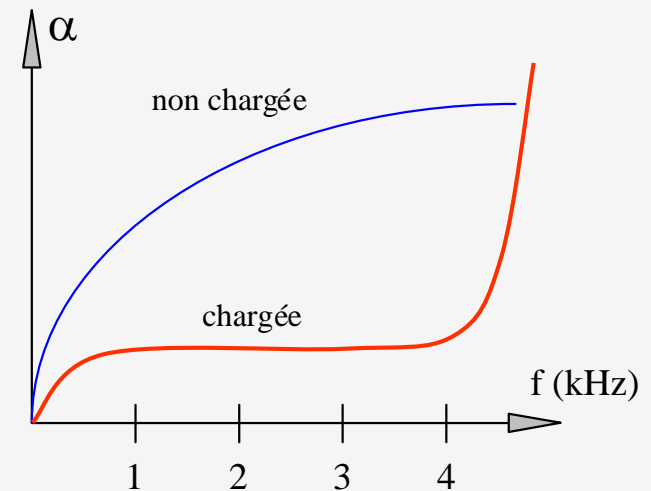
$$f_c = \frac{1}{\pi \sqrt{L_p s C}}$$

Calcul des bobines de Pupin

Calculons la valeur de L_p pour avoir une fréquence de coupure de 4kHz avec un espacement de 2 Km

$$L_p = \frac{l}{sC\pi^2 f_c^2} \quad C = 35\text{nF/km}$$

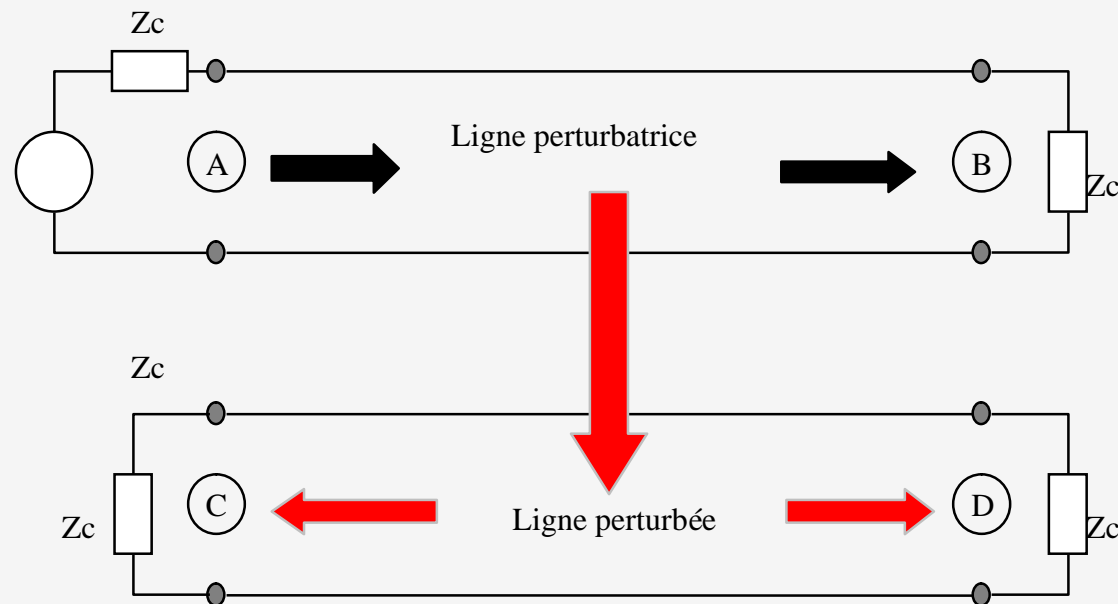
$$L_p \approx 90 \text{ mH}$$



Diaphonie

Deux lignes situées dans un même câble de transport subissent une influence mutuelle par le biais de 2 types de couplage :

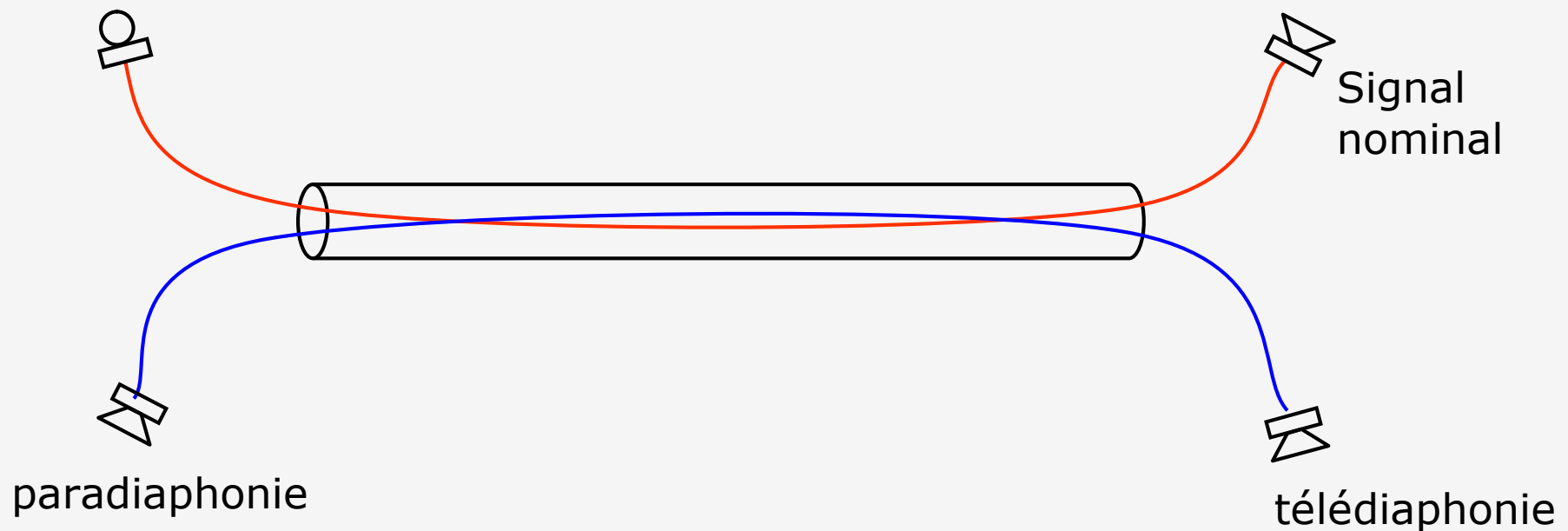
- Couplage capacitif dû à la présence de capacité entre les conducteurs des deux lignes
- Couplage par inductance mutuelle lorsqu'une ligne s'enroule sur l'autre



Paradiaphonie et Télédiaphonie

PARADIAPHONIE : C'est la diaphonie qui se manifeste à l'extrémité proche de la ligne perturbée

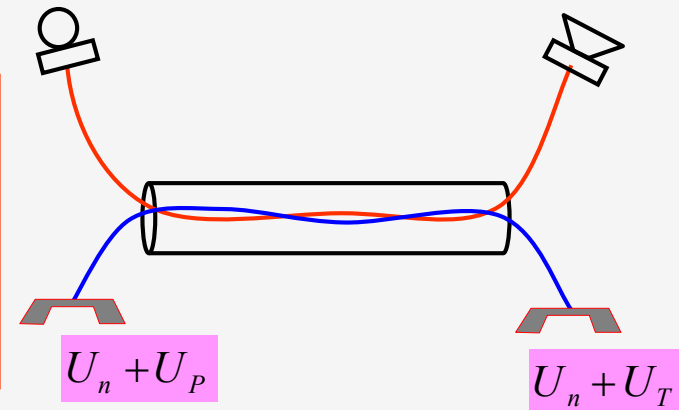
TELEDIAPHONIE : c'est la diaphonie qui se manifeste à l'extrémité éloignée de la ligne perturbée



Les écarts diaphoniques

Chaque extrémité de la ligne perturbée reçoit son signal nominal U_n sur lequel superpose un signal diaphonique. U_p du côté proche ou U_T du côté éloigné. Pour déterminer la gêne introduite par la diaphonie on évalue les rapports $\frac{\text{Signal nominal}}{\text{Diaphonie}}$ qu'on exprime en dB

$$\begin{array}{ll} \text{Ecart paradiaphonique} & A_{xpo} = 20 \log \frac{U_n}{U_p} \\ \text{Ecart télédiaphonique} & A_{xto} = 20 \log \frac{U_n}{U_T} \end{array}$$



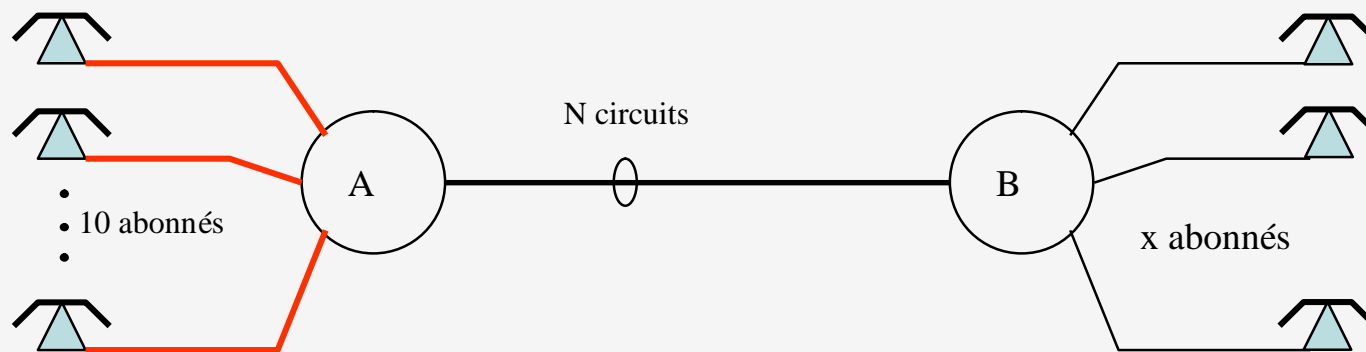
Un rapport de 100 équivaut à un écart diaphonique de 40 dB

Trafic Téléphonique

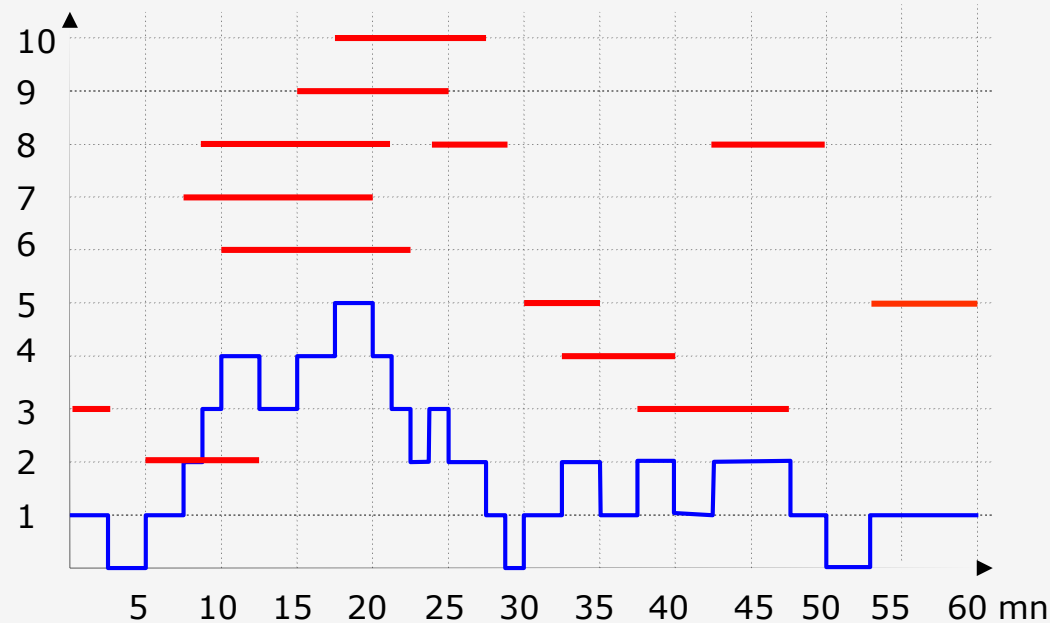
Une ligne téléphonique n'est pas occupée en permanence, Son trafic représente le pourcentage de temps pendant lequel elle est occupée.

Considérons un système fictifs où 10 abonnés reliés à un centre A peuvent communiquer avec les abonnés d'un centre B relié à A à l'aide de N circuits.

Si on observe les 10 lignes pendant une heure et on représente leur activité sur un graphique on obtient :



Trafic téléphonique (2)

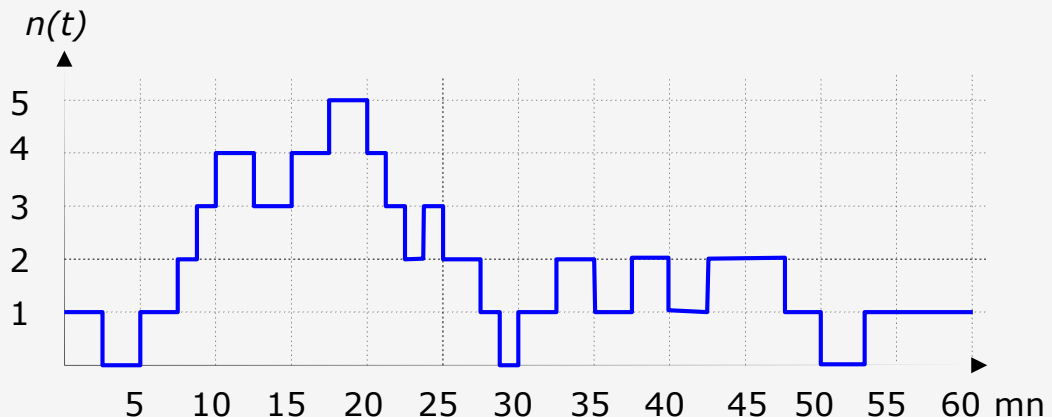


- Les instants auxquels les appels apparaissent sont indépendants
- Les communications ont une durée variable, on peut toutefois calculer une durée moyenne
- Les lignes ne sont jamais toutes occupées en même temps

Trafic : quelques définition

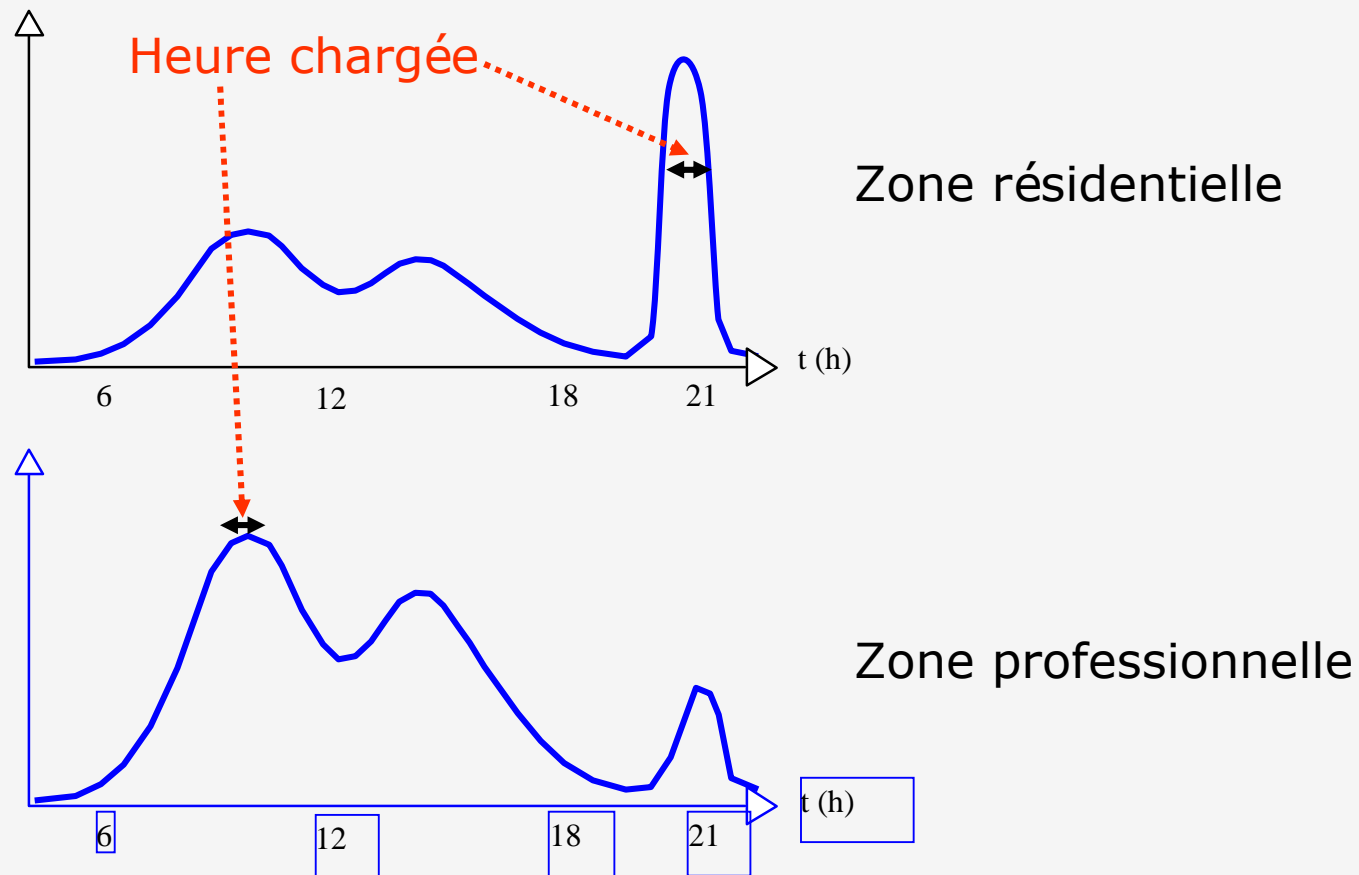
- ❑ Le **Volume de Trafic** de la ligne 6 est $5+6+3 = 14 \text{ mn}$
- ❑ Son **Trafic** ou **Intensité de Trafic** est $14/60=0.23 \text{ Erlang}$
- ❑ Le **Trafic Instantané** du faisceau de circuit est égal au nombre $n(t)$ de circuit occupés à un instant donné,
- ❑ Le **Trafic moyen** (A) du faisceau de circuit est égal à la moyenne dans le temps du nombre de circuits occupés $n(t)$

$$A = \frac{1}{T} \int_0^T n(t) dt$$



Heure chargée

Pour la planification du réseau, la mesure du trafic d'un faisceau doit se faire pendant l'heure chargée



Modèle d'Erlang

Si on fait les hypothèses suivante :

- ❑ Il est très rare que deux appels ou plus arrivent pendant un même petit intervalle de temps.
- ❑ Le nombre n d'appels arrivant pendant un petit intervalle de temps τ est *proportionnel à cet intervalle* : $n = \lambda\tau$, λ est la densité d'arrivées des appels.
- ❑ La probabilité pour qu'un appel apparaisse à un instant t est indépendante de t et de tout ce qui s'est produit avant
- ❑ La loi des durées qui exprime la probabilité pour qu'un appel ait une durée $> \tau$ est une loi exponentielle négative
$$g(\tau) = e^{-\frac{\tau}{T}}$$

Modèle d'Erlang (2)

Erlang a proposé le modèle suivant

Si un trafic A est présenté sur un groupe de N organes, la probabilité de trouver i organes occupés est

$$P_i = \frac{\frac{A^i}{i!}}{1 + \frac{A}{1!} + \frac{A^2}{2!} + \dots + \frac{A^N}{N!}}$$

Probabilité d'Echec

La probabilité d'échec correspond à $i = N$

$$E_N(A) = \frac{\frac{A^N}{N!}}{1 + \frac{A}{1!} + \frac{A^2}{2!} + \dots + \frac{A^N}{N!}}$$

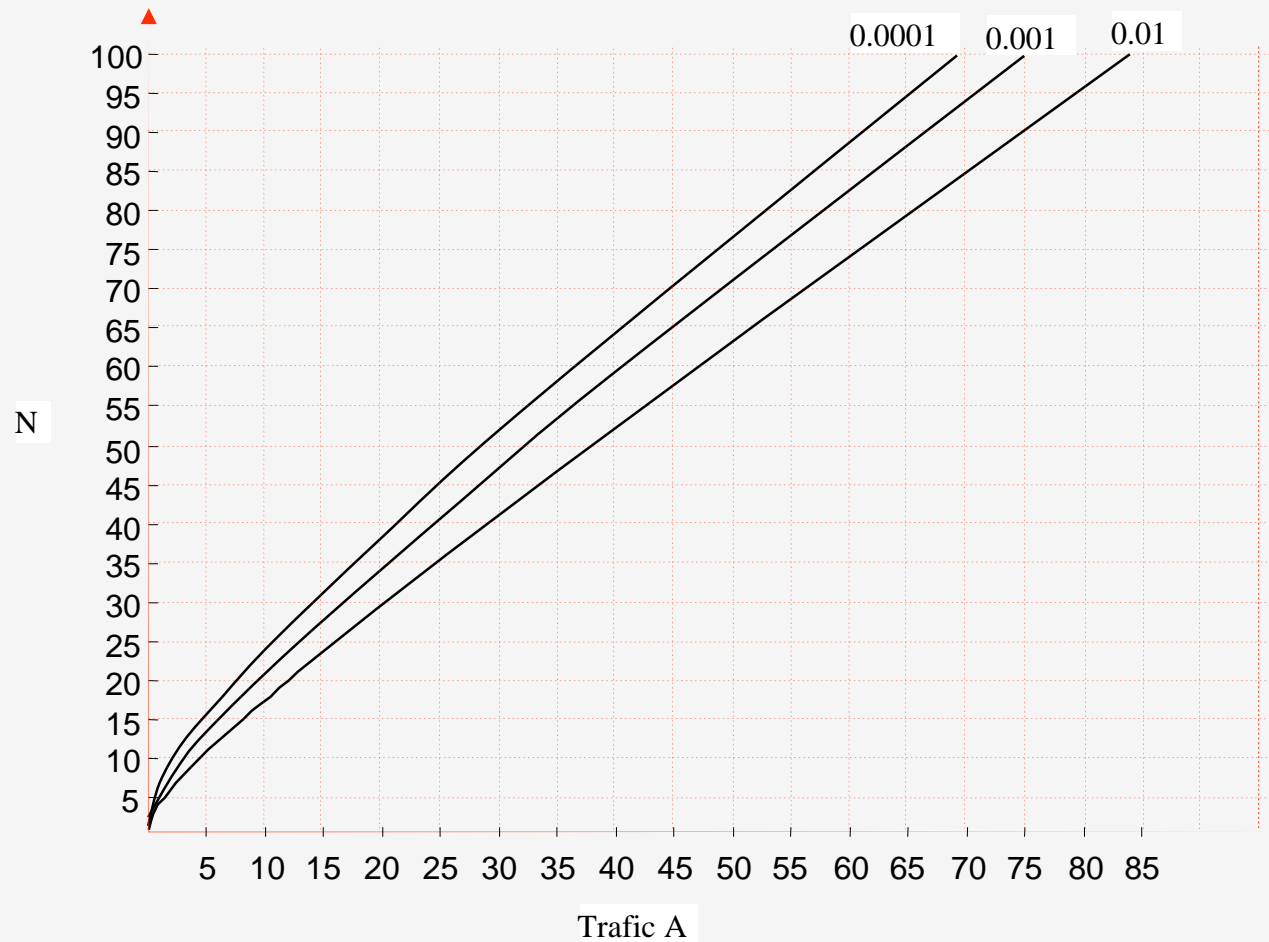
C'est la formule d'Erlang pour système avec perte ou
formule d'Erlang B

On peut la calculer par récurrence

$$\frac{1}{E_N(A)} = 1 + \frac{N}{A} \frac{1}{E_{N-1}(A)}$$

Abaque d'Erlang

En général on cherche le nombre d'organes nécessaires pour écouler un trafic donné avec une qualité de service spécifiée



Trafic, densité d'arrivé et durée moyenne

λ : Densité d'arrivée des appels

θ : Durée moyenne des appels

$$A = \lambda \theta$$

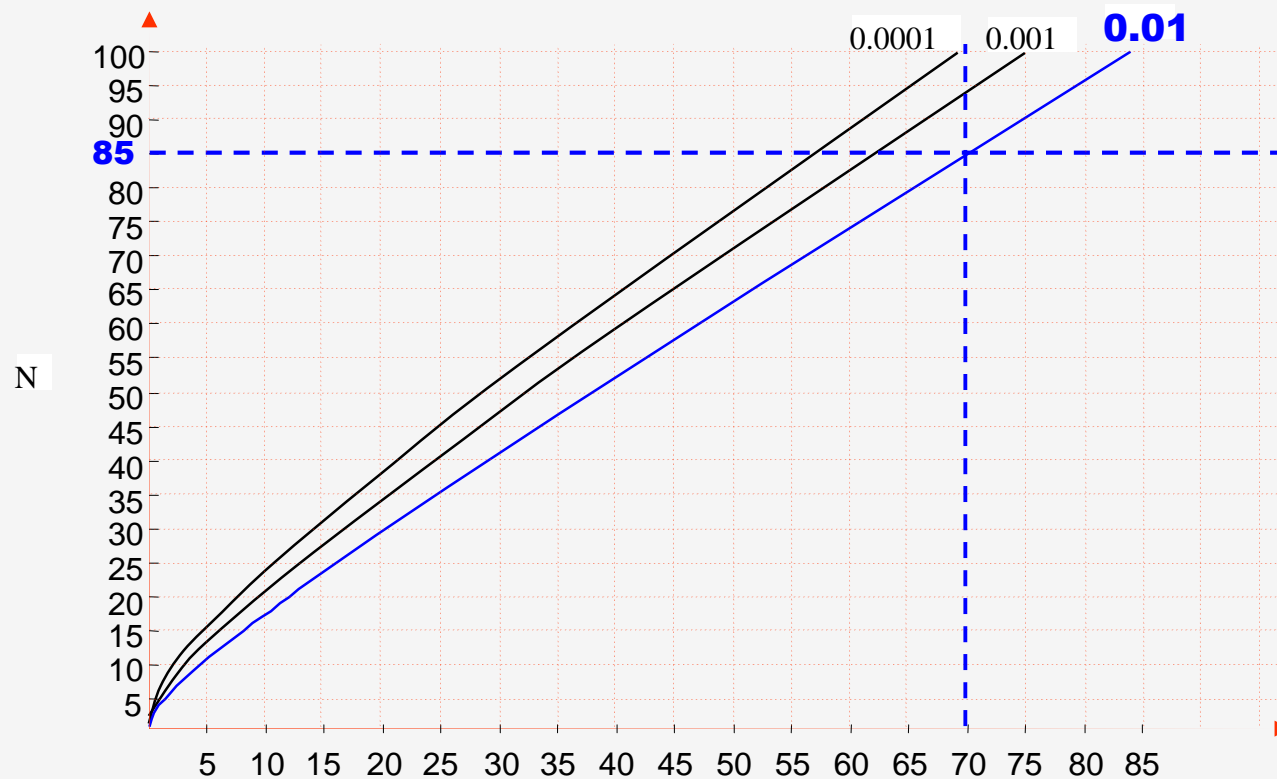
En effet, si N = Nombre d'appels apparus pendant une durée T

$$\begin{cases} \theta = \frac{\sum \theta_i}{N} \\ N = \lambda T \end{cases} \Rightarrow \theta = \frac{\sum \theta_i}{\lambda T} = \frac{A}{\lambda}$$

Exemple 1

Donner le **nombre de circuits** nécessaires pour transporter avec un taux d'échec de **1 %** le trafic de **1000 abonnés** ayant un trafic **0.07E** chacun

$$\text{Trafic Offert : } 1000 \times 0.07 = 70 \text{ E}$$



Exemple 2

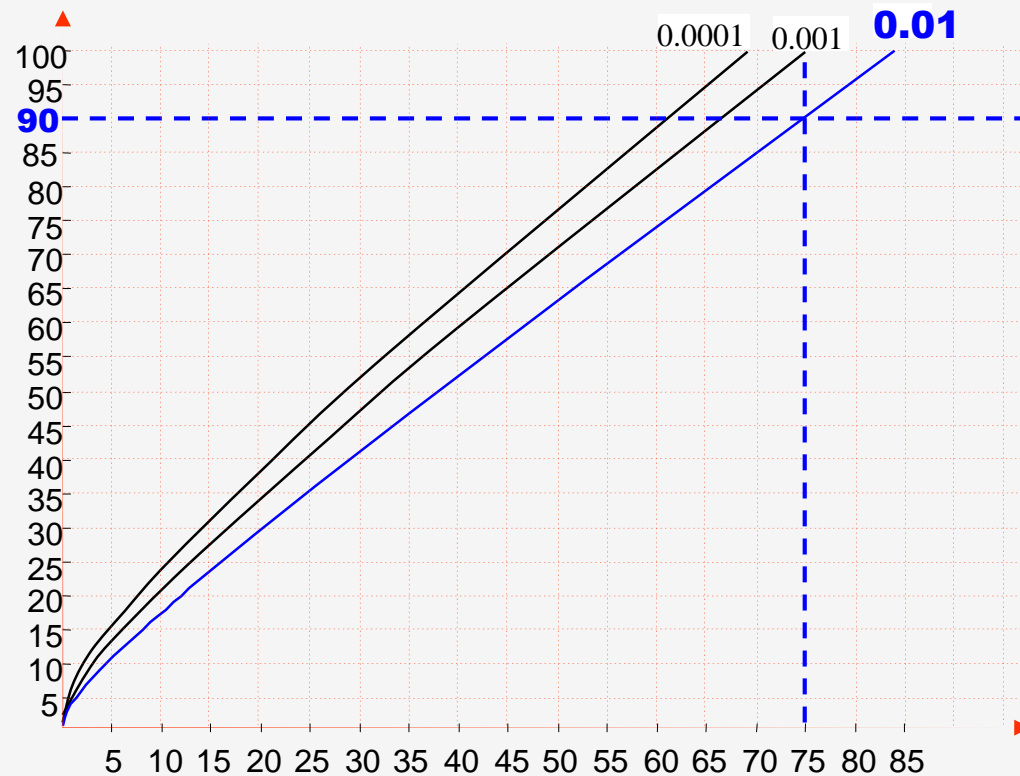
Donner le **nombre de circuits** nécessaires pour transporter avec un taux d'échec de **1 %** le trafic de 900 abonnés qui utilisent leur téléphone **une fois par heure** avec une **durée moyenne de 5mn** par appel

$$\lambda = 1/60 \text{ appel/minute}$$

$$\theta = 5 \text{ mn}$$

$$\begin{aligned} \text{Trafic d'un abonné} &= \\ 1/60 \times 5 &= 0.083 \text{ E} \end{aligned}$$

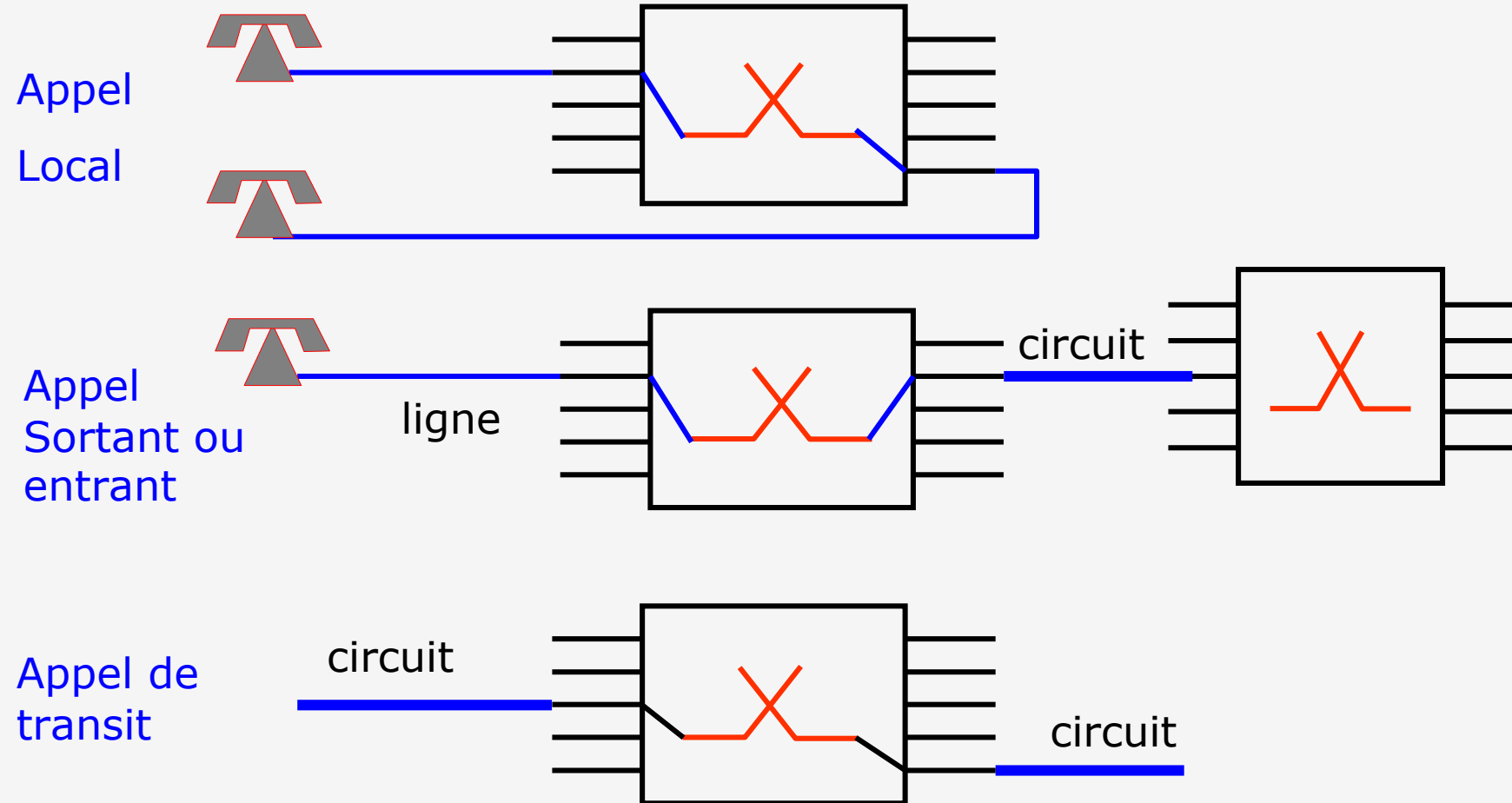
$$\begin{aligned} \text{Trafic offert} &= \\ 900 \times 0.083 &= 75 \text{ E} \end{aligned}$$



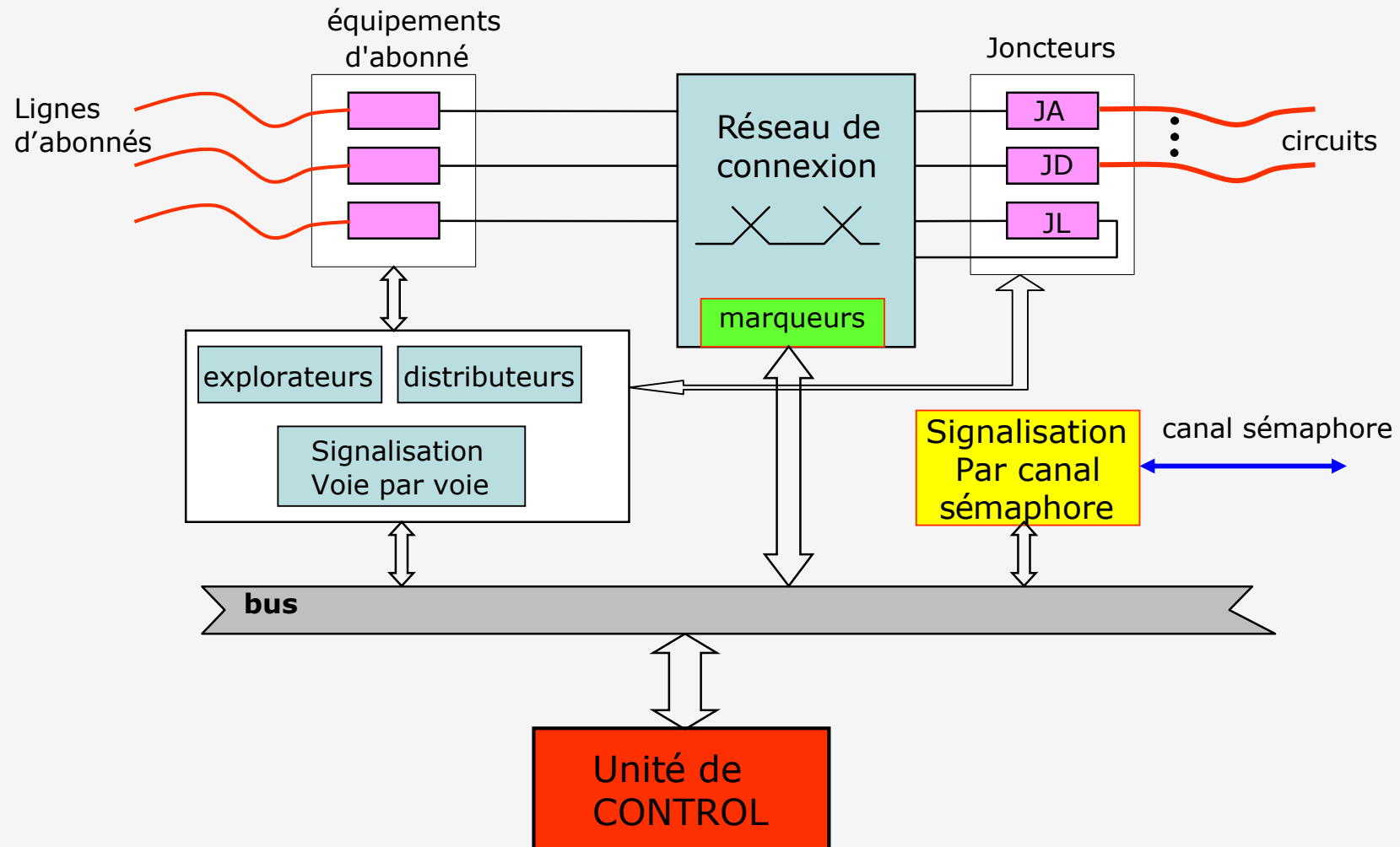
Les COMMUTATEURS

- ❑ Les commutateurs constituent les nœuds du Réseau Téléphonique Commuté
- ❑ La fonction principale d'un commutateur est d'assurer à la demande la connexion de la ligne de l'abonné demandeur avec la ligne de l'abonné demandé
- ❑ Un commutateur peut être de :
 - de rattachement,
 - de transit
 - mixte

Type de connexions



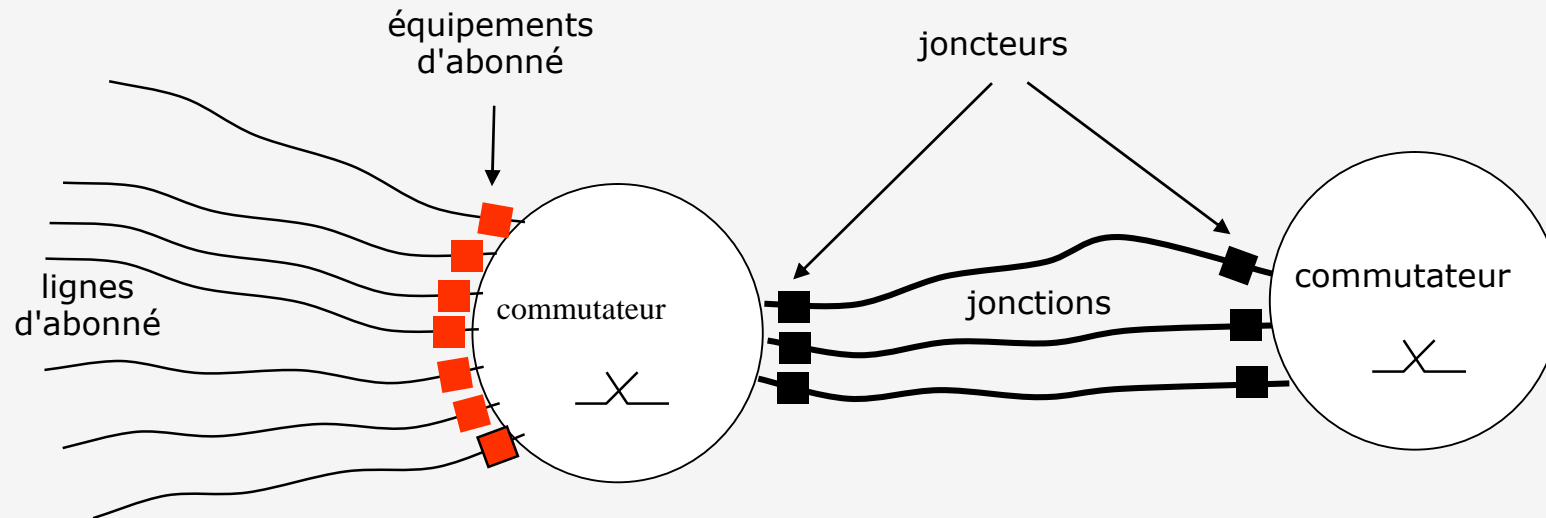
Model fonctionnel d'un commutateur



Équipement d'abonné

L'équipement d'abonné assure l'interface entre la ligne d'abonné et le commutateur.

C'est un équipement individuel pour chaque ligne d'abonné.

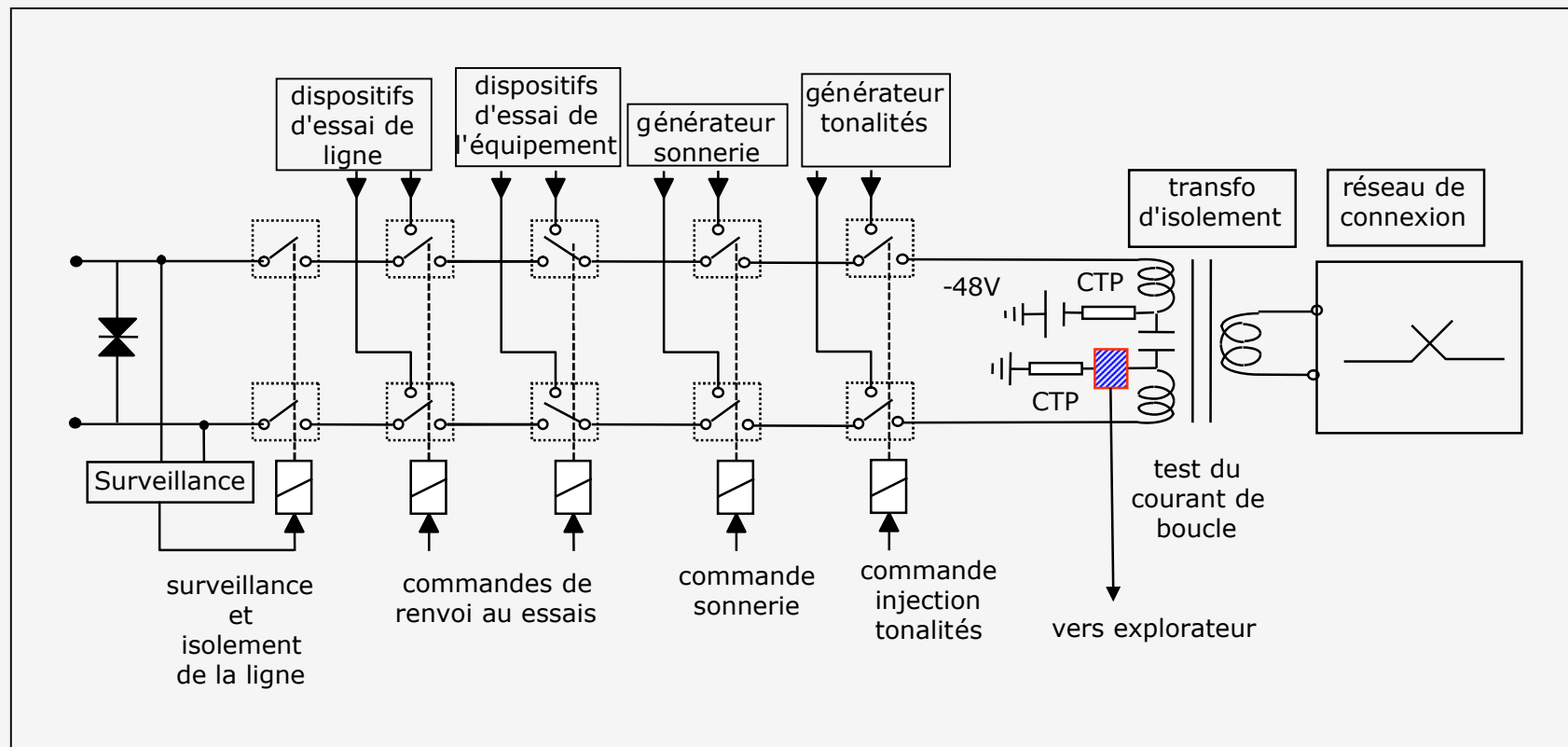


Fonctions d'un Equipement d'abonné

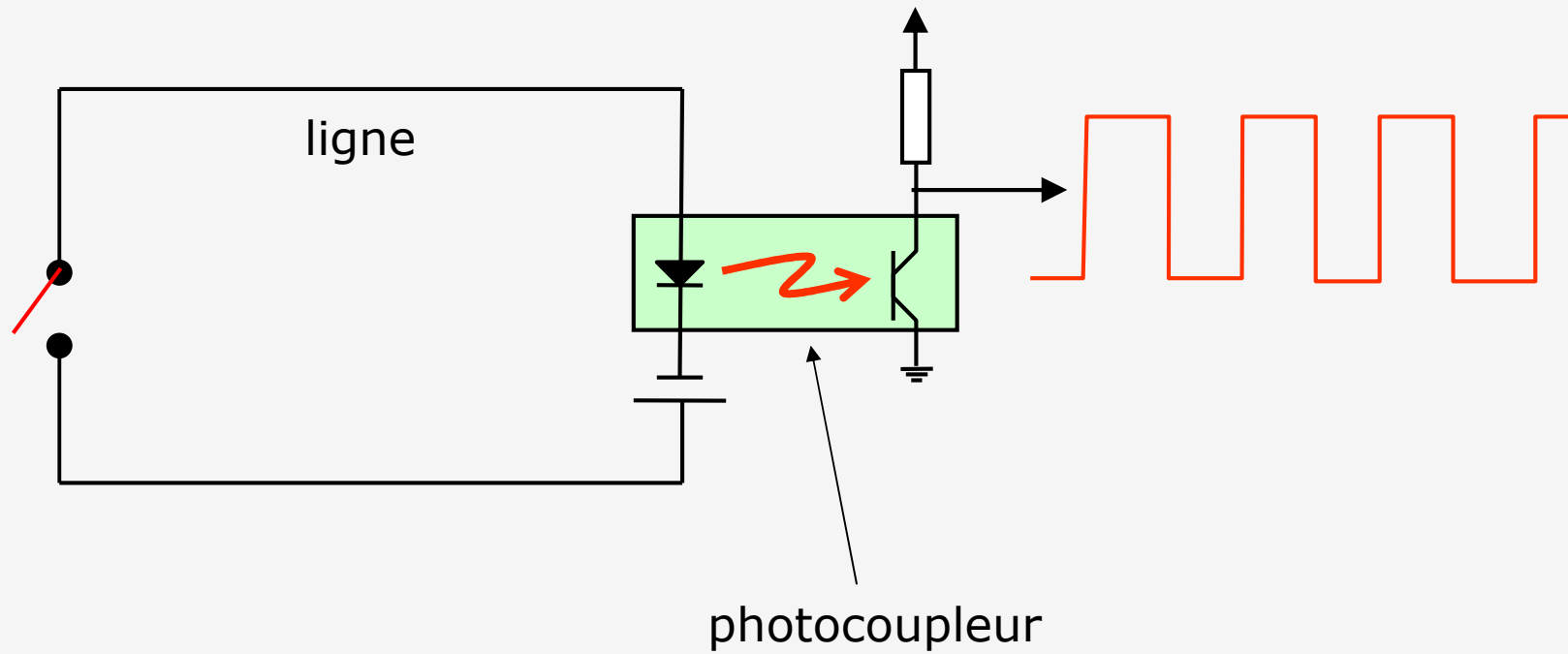
On dit qu'un Equipement d'abonné assure les fonctions **BORSHT** :

- ❑ **Battery feed** : Alimentation de la ligne d'abonné,
- ❑ **Overvoltage protection** : Protection contre les surtensions,
- ❑ **Ringing** : injection de la sonnerie sur la ligne,
- ❑ **Signaling** : Interfacer la ligne avec les auxiliaires de signalisation,
- ❑ **Hybrid** : Interfaçage 2 fils / 4 fils pour la séparation du signal montant et du signal descendant,
- ❑ **Test** : Isolation de la ligne d'abonné dans un but de test.

Model fonctionnel d'un Equipement d'abonné

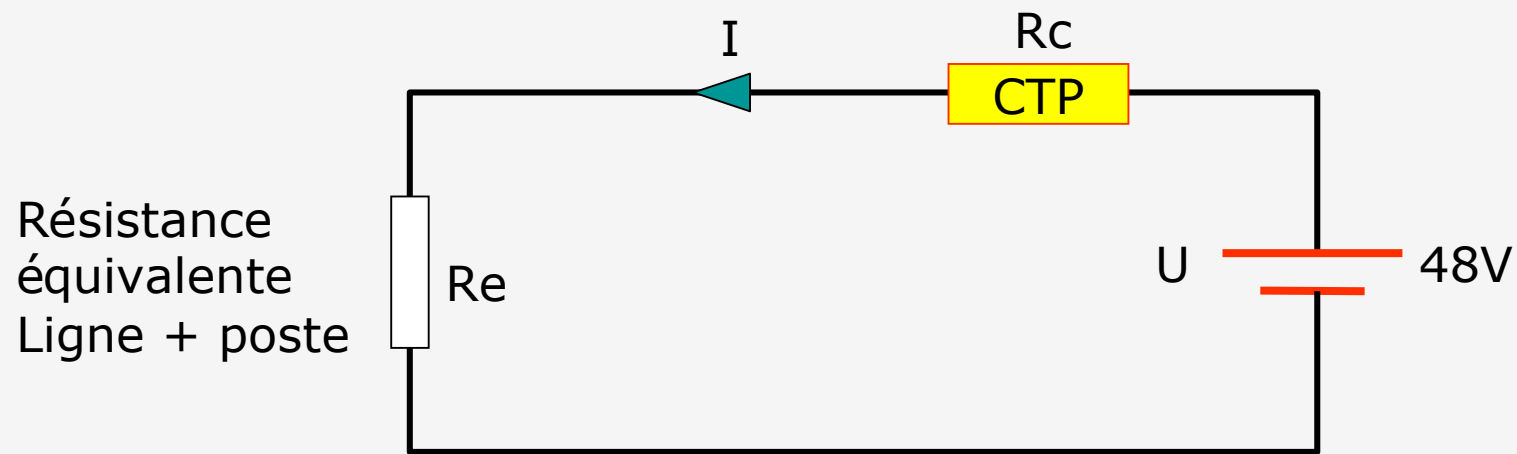


Test du courant de ligne



Control automatique du courant de ligne

CTP : résistance à Coefficient de Température Positif
La résistance R_c augmente avec la température T

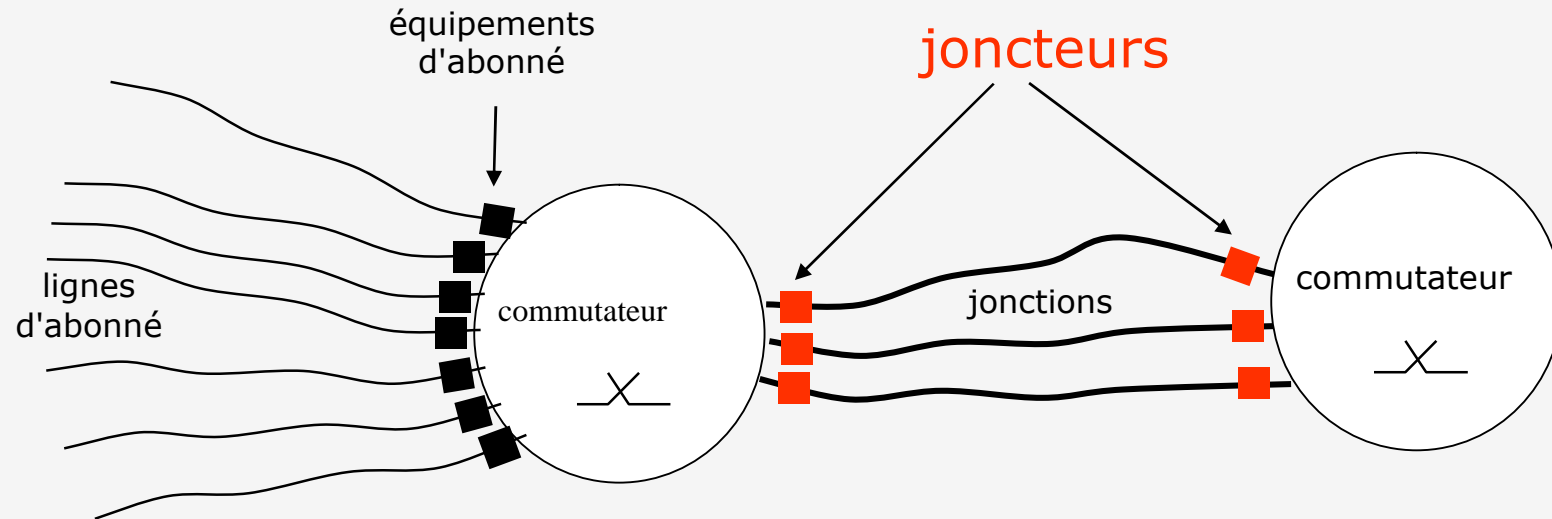


$$U = (R_c + R_e) I$$

$R_e \downarrow \Rightarrow I \uparrow \Rightarrow T \uparrow \Rightarrow R_c \uparrow \Rightarrow I \downarrow$

R_c s'ajuste automatiquement pour que $(R_e + R_c)$ reste constant

Les Joncteurs

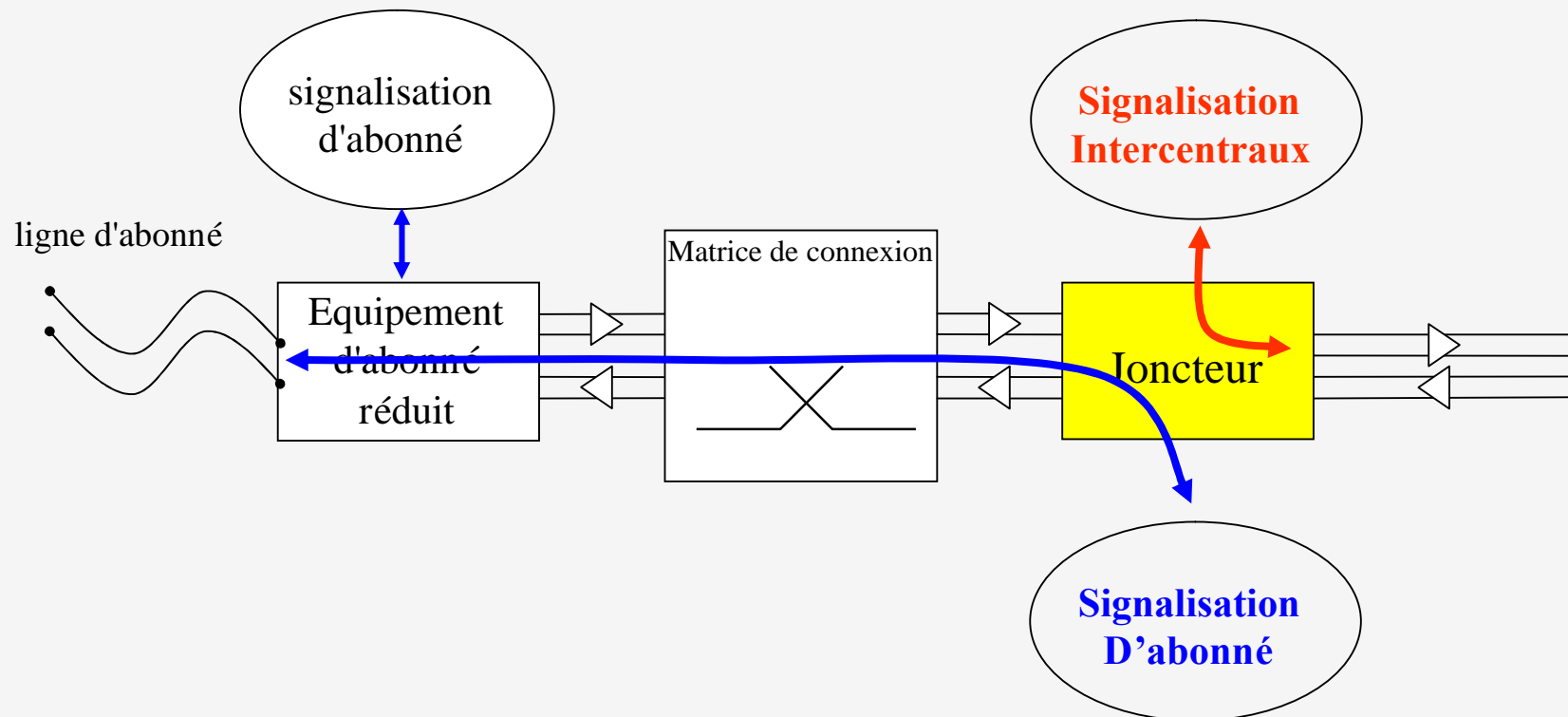


Le Joncteur assure les mêmes fonctions que l'Équipement d'abonné mais vis-à-vis des circuits d'interconnexion entre commutateurs.

C'est au niveau du joncteur qu'on injecte/extrait la signalisation voie par voie transportée par les circuits.

Joncteur mixte

Dans certains commutateurs, les joncteurs véhiculent une partie de la signalisation d'abonné à travers la matrice de connexion. Ceci permet de réduire les coûts puisque le nombre de joncteurs est inférieur à celui des équipements d'abonné



Explorateur

Un explorateur explore cycliquement les équipement d'abonné dont il a la charge et avertit l'Unité de Control quand il y a un événement remarquable,

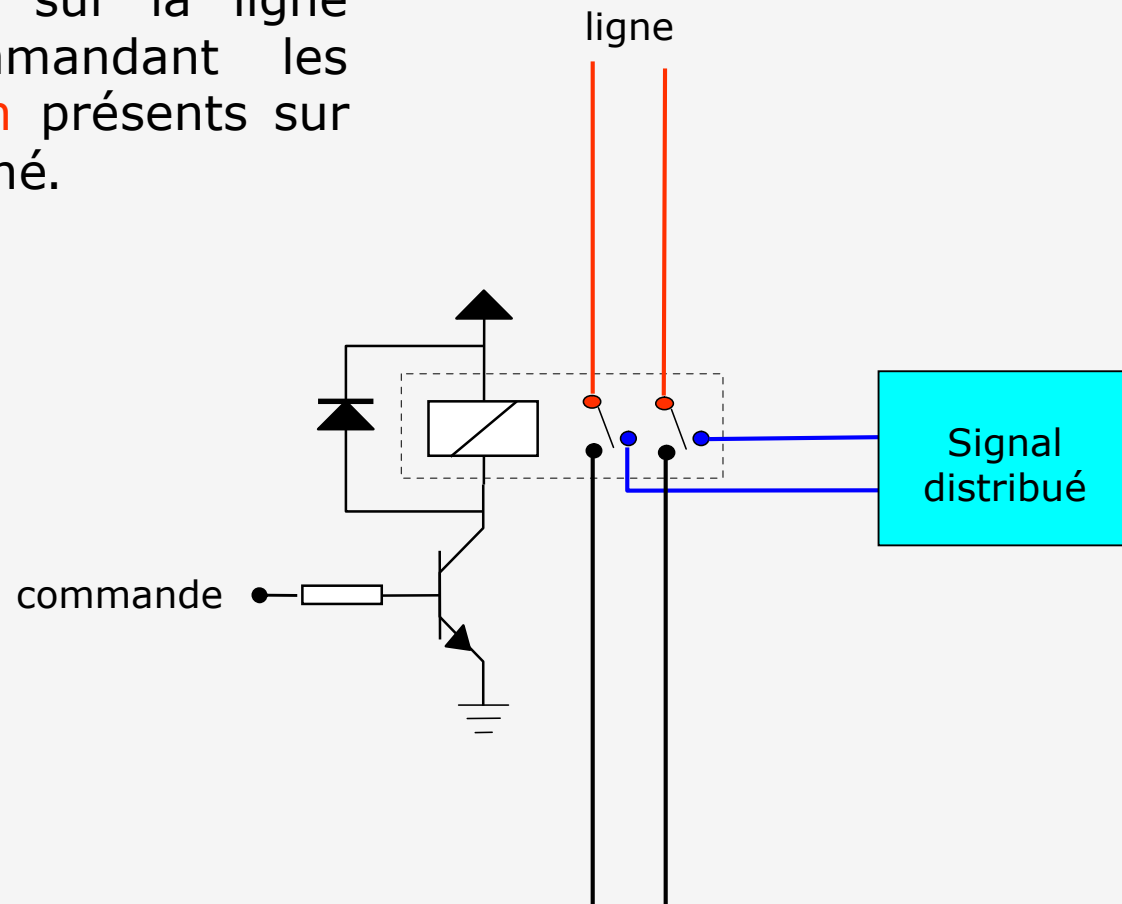
A chaque passage il compare l'état de la ligne avec l'état du passage précédent et détermine s'il y a eu un changement,

La ligne peut être dans les état suivants :

- ☐ Raccroché
- ☐ En appel (juste après décrochage)
- ☐ Connecté (à un joncteur à travers le réseau de connexion)
- ☐ En faux appel (décrochée mais non connectée)
- ☐ Fin de faux appel (raccrochage après faux appel)
- ☐ Fin de communication (raccrochage après communication)

Distributeur

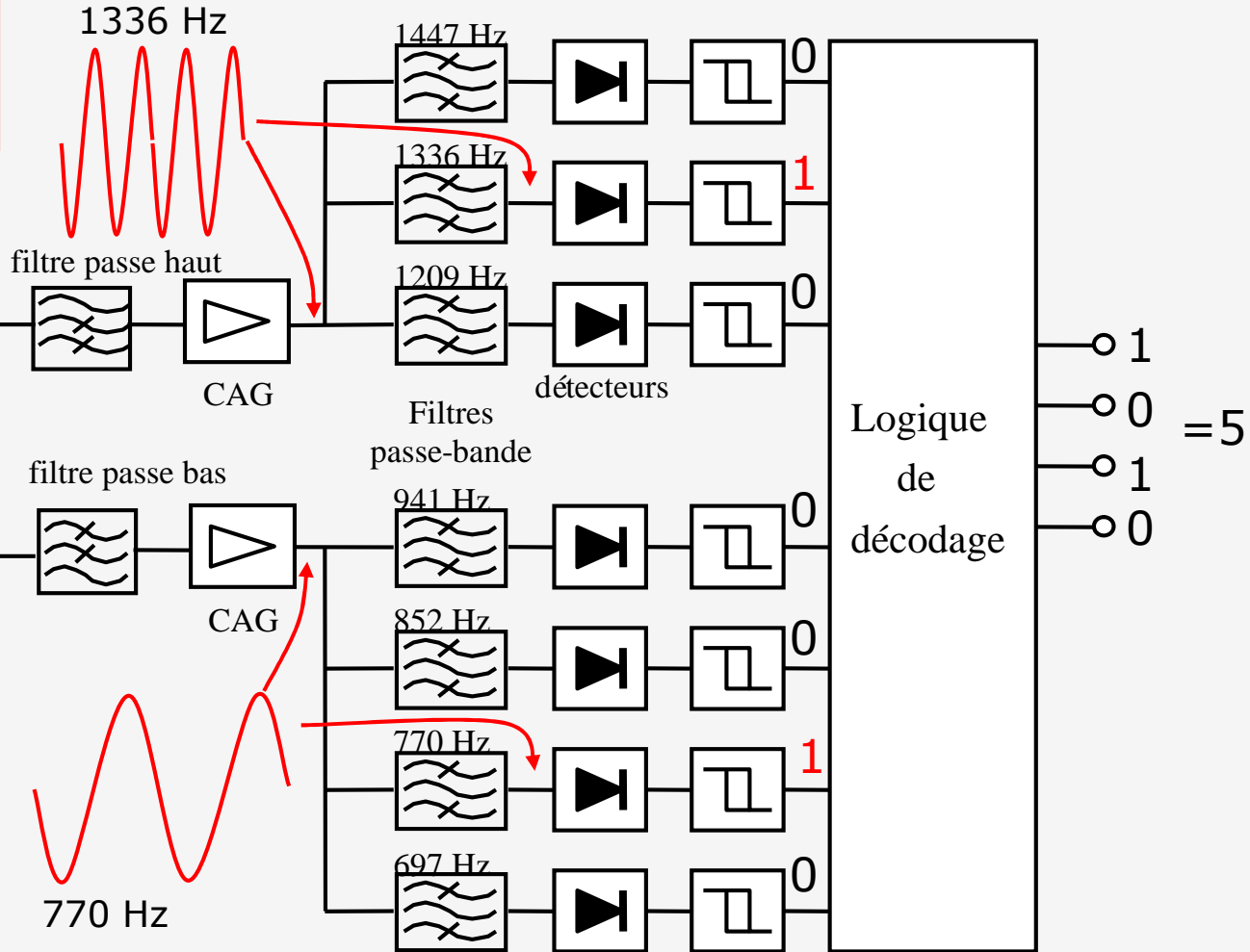
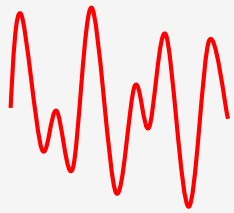
A la demande de l'unité de control, le distributeur permet **d'injecter** différents signaux sur la ligne d'abonné en commandant les **ponts de distribution** présents sur l'équipement d'abonné.



Auxiliaire de reconnaissance de Numérotation fréquentielle

697	1	2	3
770	4	5	6
852	7	8	9
941	*	0	#
	1209	1336	1477

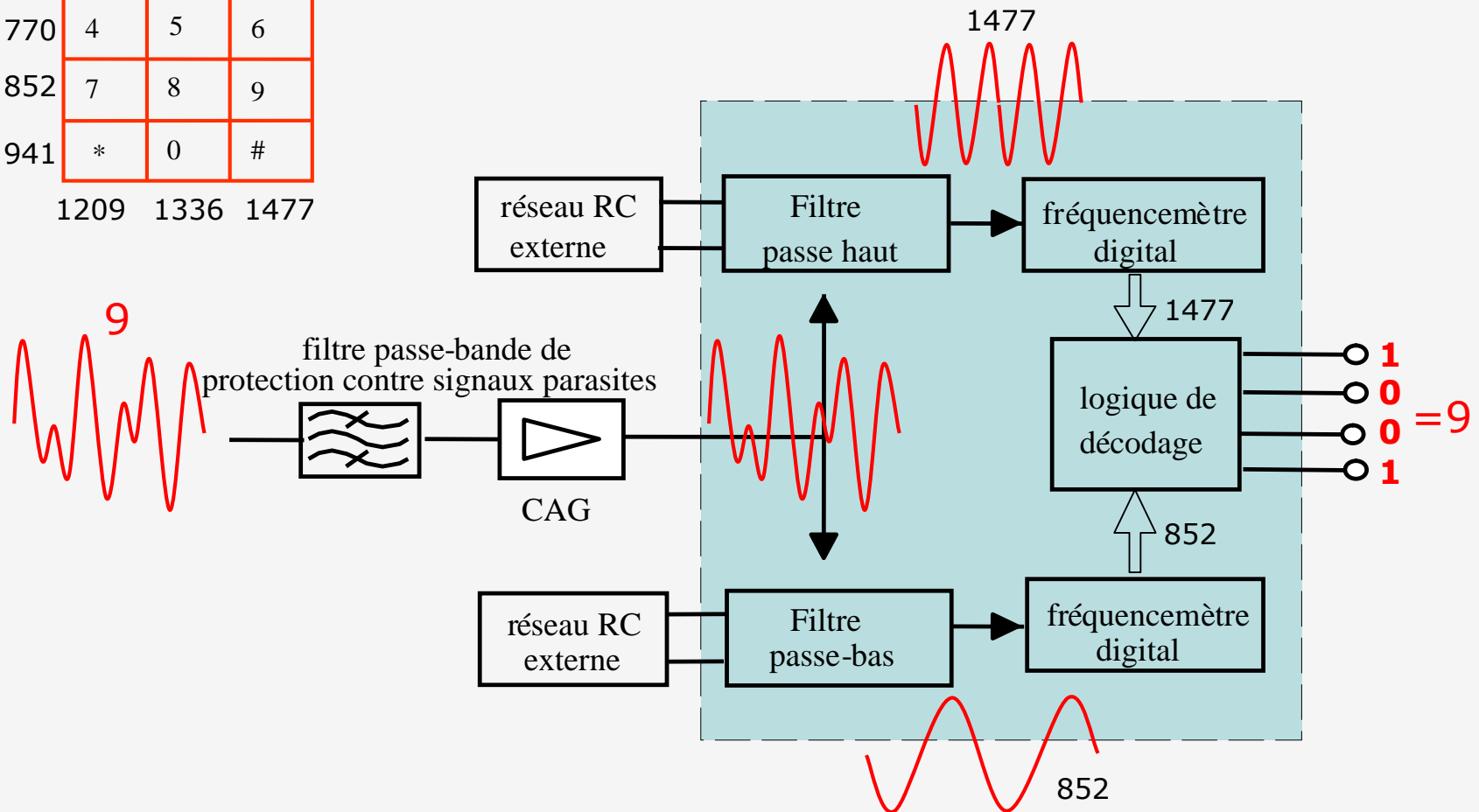
1336+770



Autre auxiliaire

697	1	2	3
770	4	5	6
852	7	8	9
941	*	0	#

1209 1336 1477

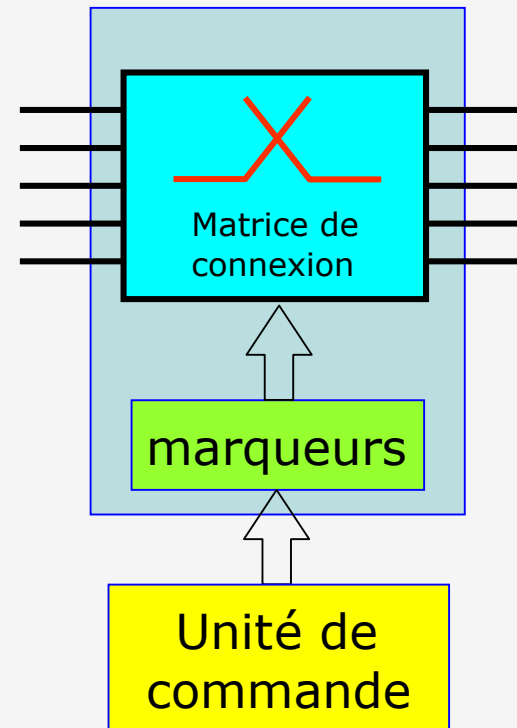


Réseau de Connexion

Le réseau de connexion est la partie du commutateur qui permet de **connecter** les lignes **appelantes** avec les lignes **appelées**

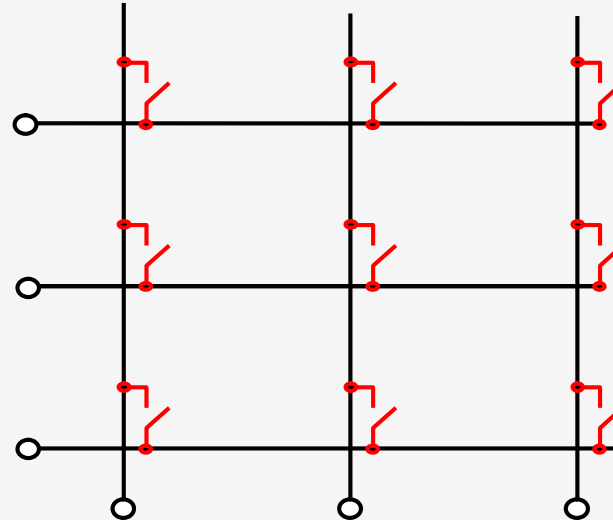
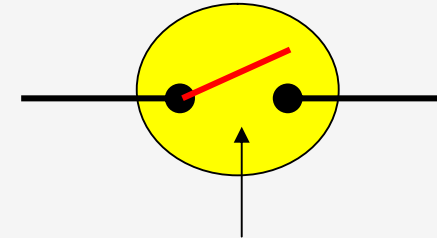
La matrice de connexion contient un ensemble de points de connexion permettant de relier n'importe quelle ligne entrante à n'importe quelle ligne sortante.

L'unité de marquage désigne et commande les points de connexion pour établir l'itinéraire demandé par l'Unité de Control



Matrice de commutation

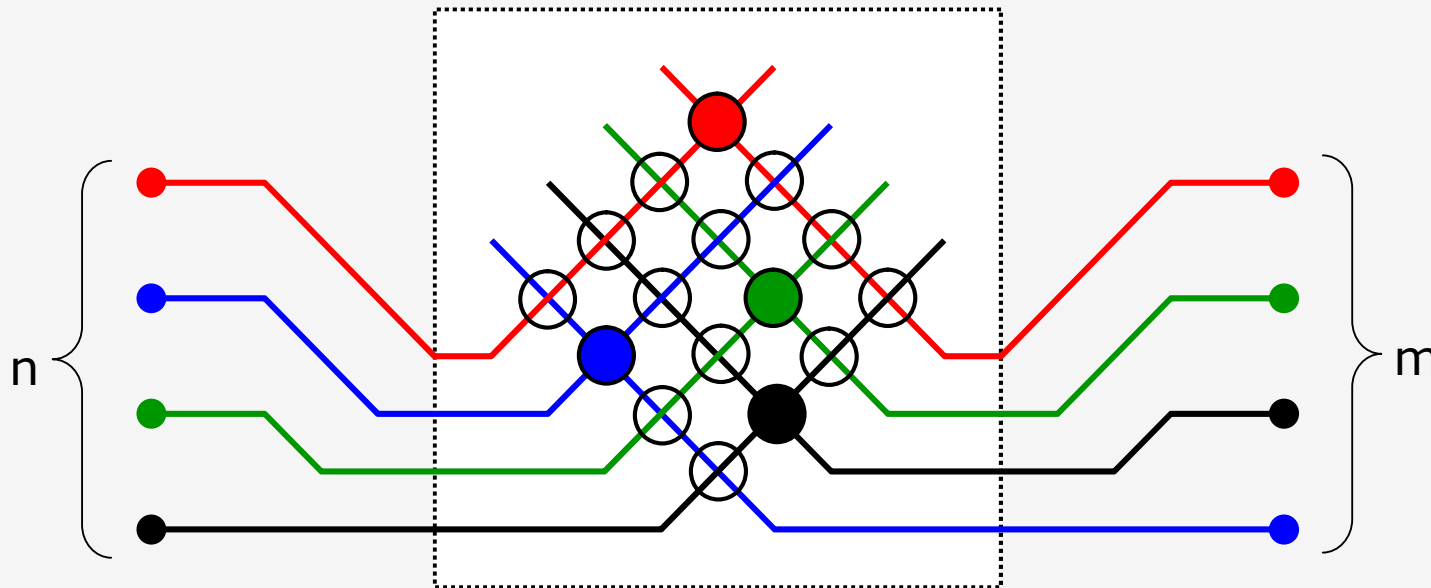
L'élément de base en commutation est le point de connexion. Jadis électromécanique il est aujourd'hui électronique. (Transistor)



L'association de plusieurs points de connexion permet de réaliser des matrices de commutation

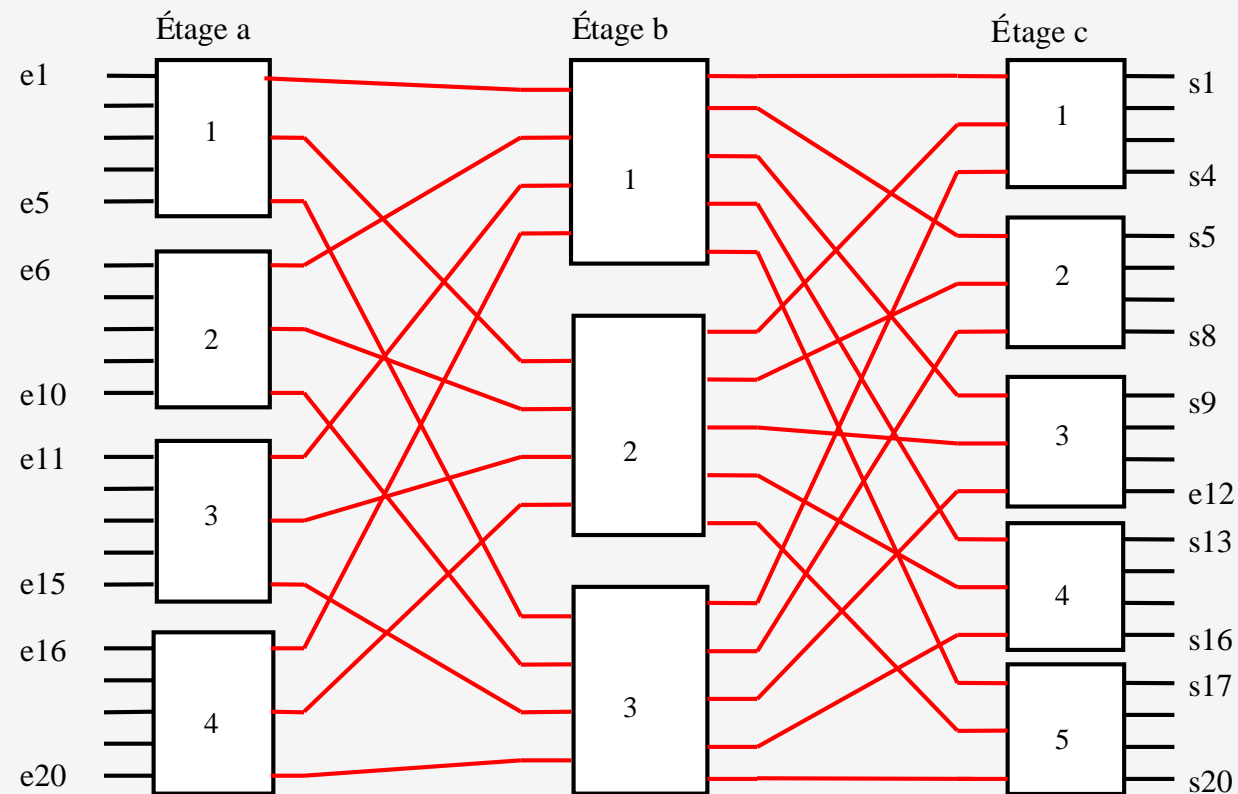
Avantages et Inconvénients

- + Blocage nul
- Nombre très important de points de connexion = $n \times m$
- difficulté de fabrication et de maintenance



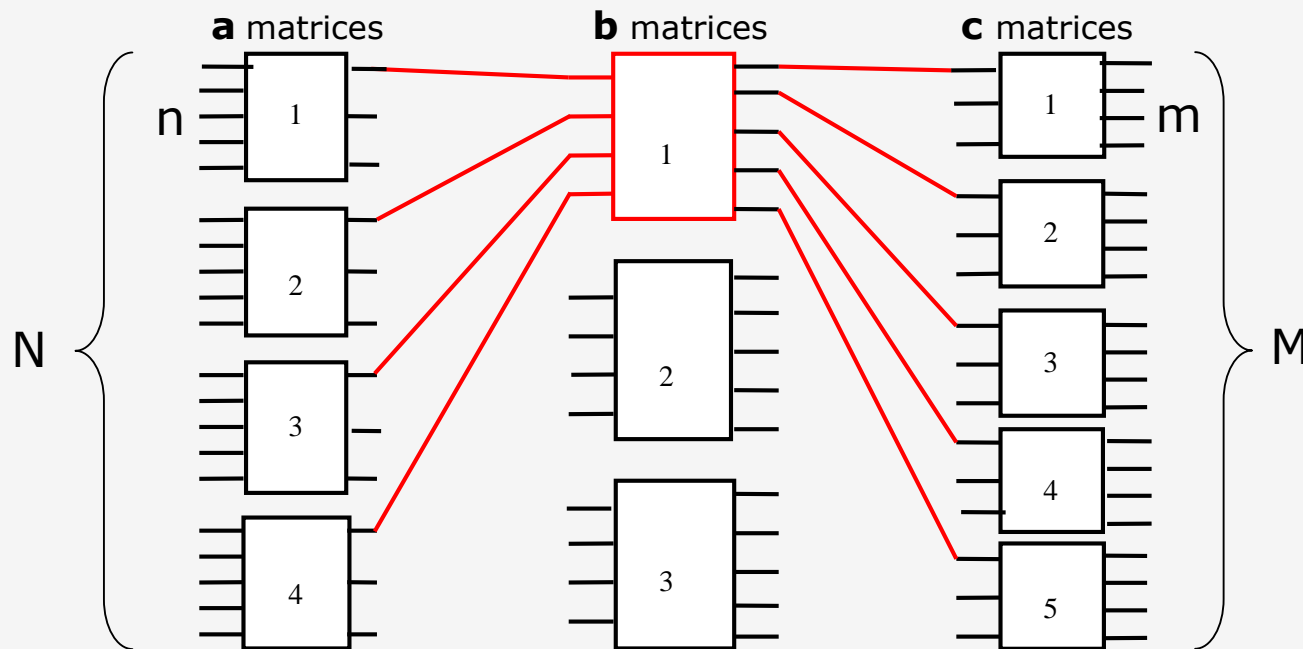
Réseau maillé

- ❑ Association de petites matrices
- ❑ Facilité de réalisation
- ❑ Facilité d'exploitation et de maintenance

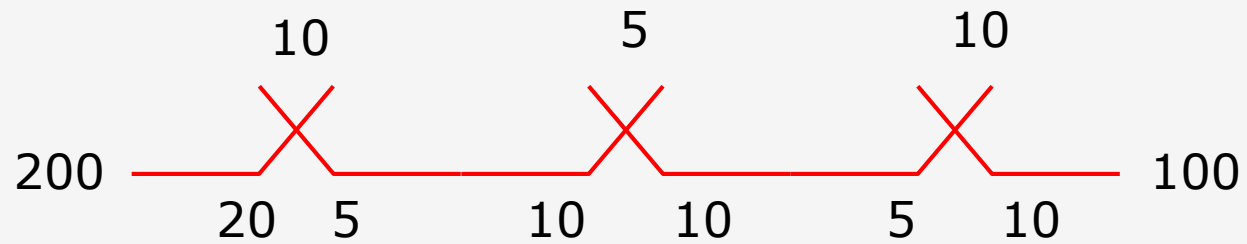
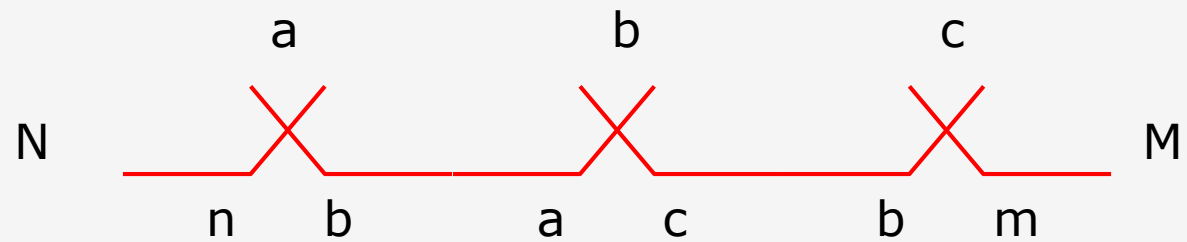


Règle de connectivité

- ❑ Si N est le nombre d'entrées du réseau, les matrices du premier étage ont n entrées t.q. $N = n \times a$
- ❑ Si M est le nombre de sorties du réseau, les matrices du dernier étage ont m sorties t.q. $M = m \times c$
- ❑ Une matrice a autant d'entrées qu'il y a de matrice dans l'étage précédent
- ❑ Une matrice a autant de sorties qu'il y a de matrice dans l'étage suivant

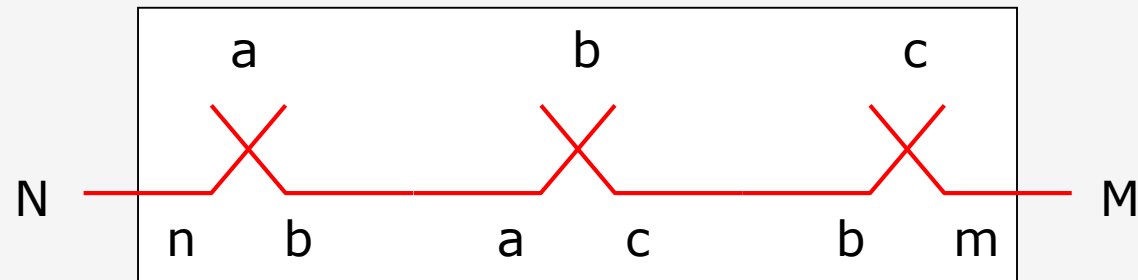


Représentation symbolique



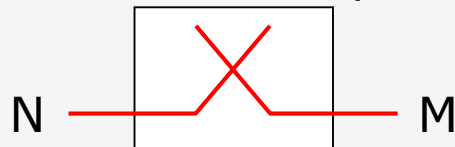
Nombre de Points de Connexions

Réseau maillé



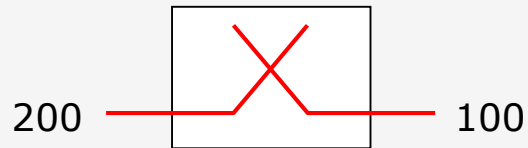
$$NPC = a \times (n \times b) + b \times (a \times c) + c \times (b \times m)$$

Matrice unique

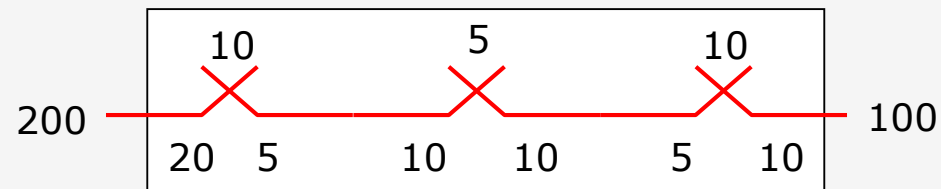


$$NPC = N \times M$$

Exemple de comparaison



$$\text{NPC} = 200 \times 100 = 20000$$

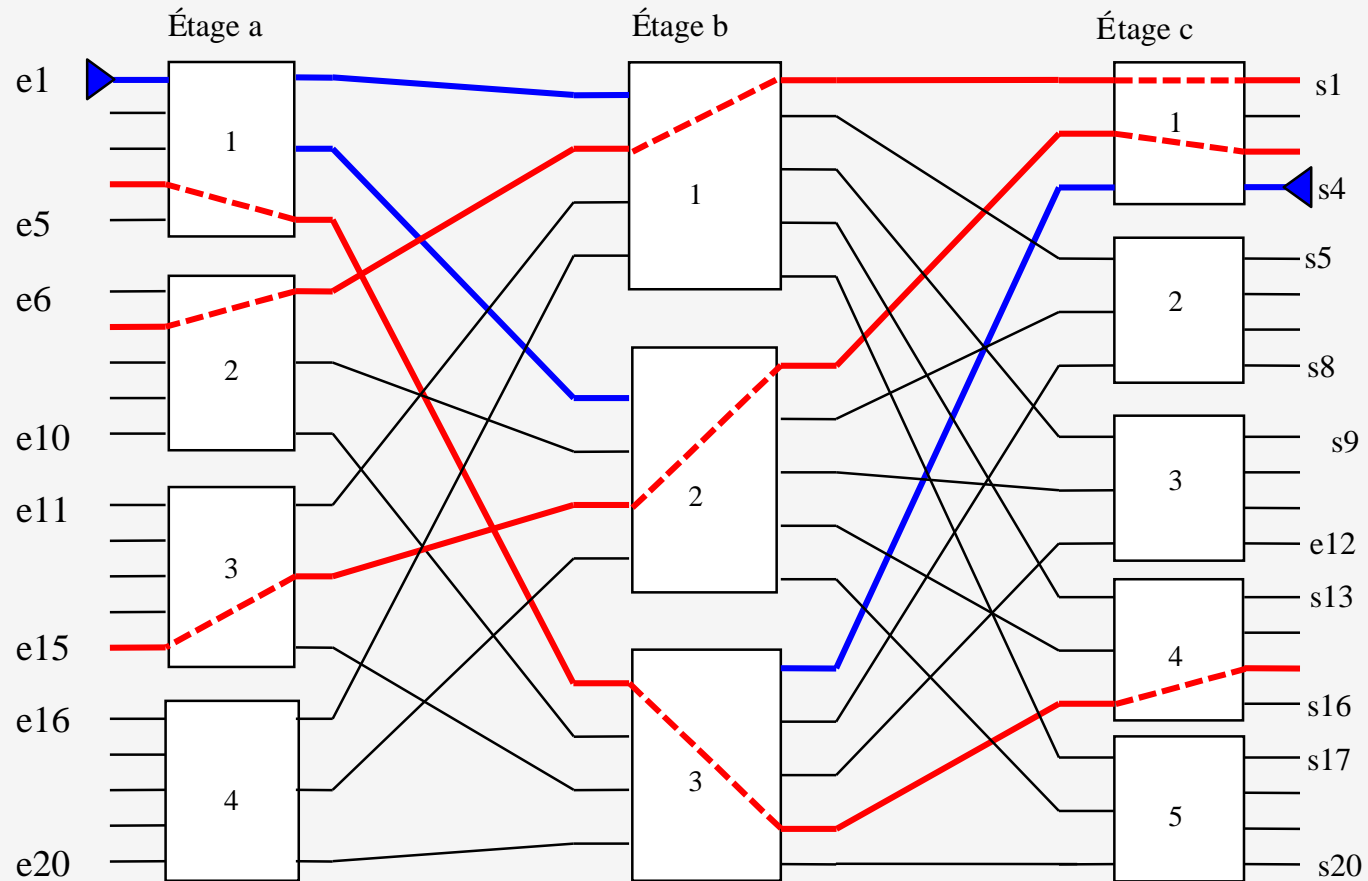


$$\text{NPC} = 1000 + 500 + 500 = 2000$$

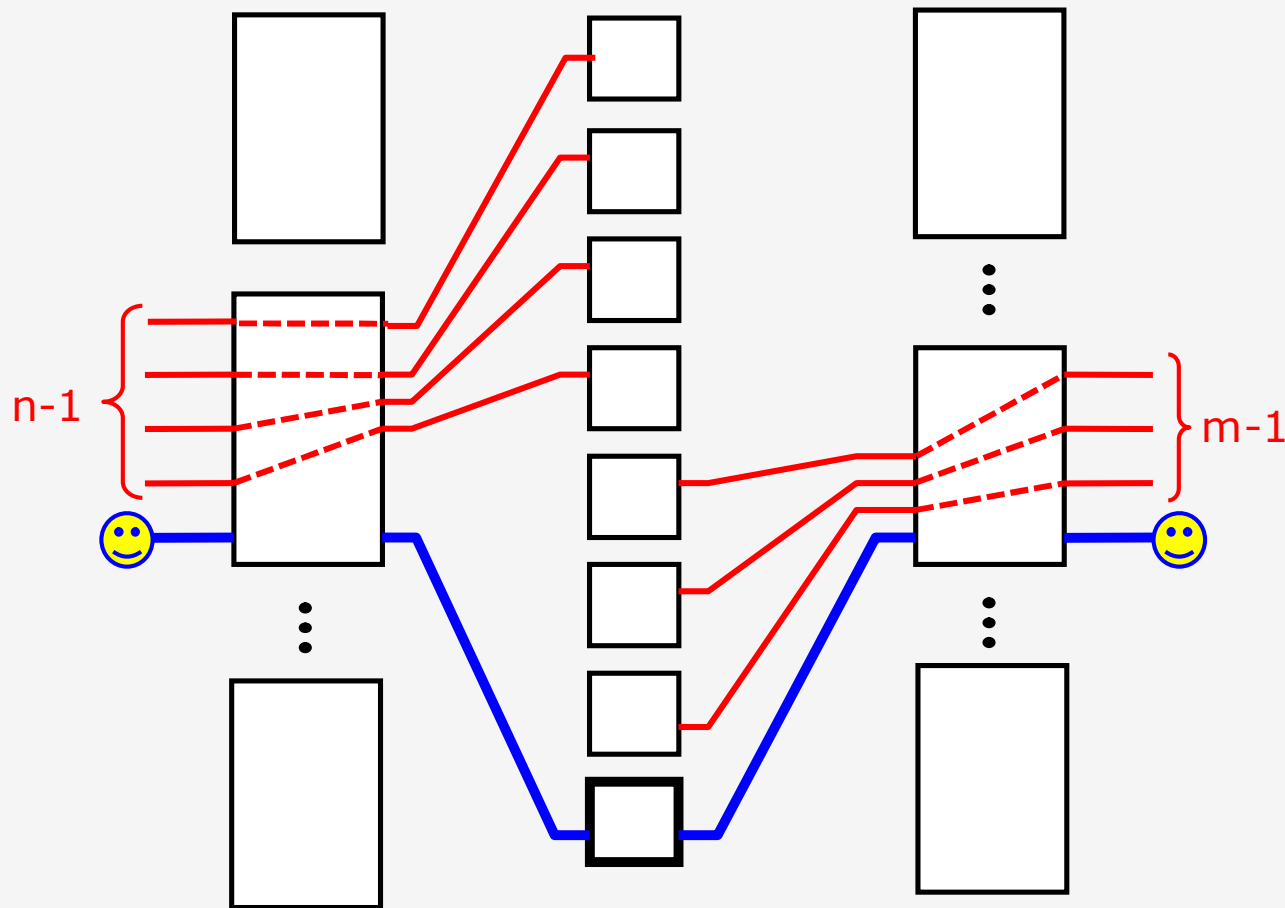
Gain = 18000 points de connexion

Non seulement on gagne en simplicité, on gagne aussi en coût

Blocage Interne

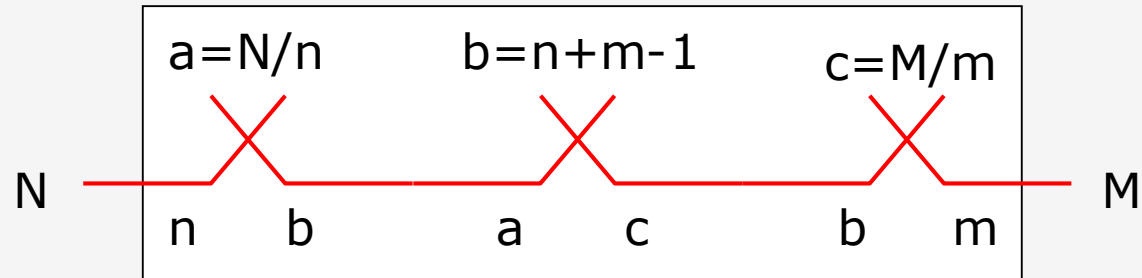


Réseau de CLOS à blocage nul



Pour lever le blocage interne, il faut avoir
 $(n-1) + (m-1) + 1 = n + m - 1$
matrices dans le 2ème étage

Nombre de PC d'un réseau de CLOS

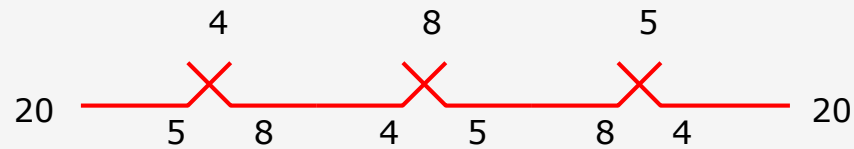


$$NPC = a \times (n \times b) + b \times (a \times c) + c \times (b \times m)$$

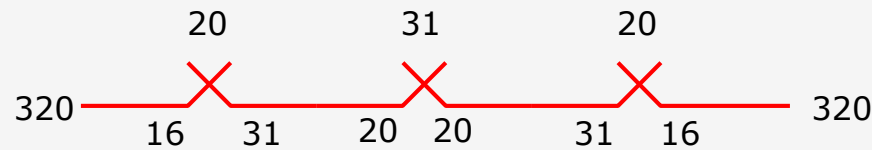
$$NPC = (n + m - 1) \left(N + M + \frac{NM}{nm} \right)$$

Le réseau de CLOS est-il plus économique que la matrice unique ?

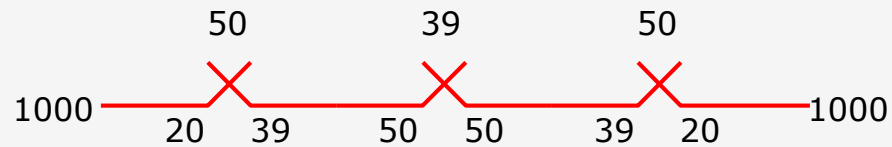
Comparaison CLOS/Matrice unique



carrée : 400 pc
 clos : 480 pc
 gain : -80 pc

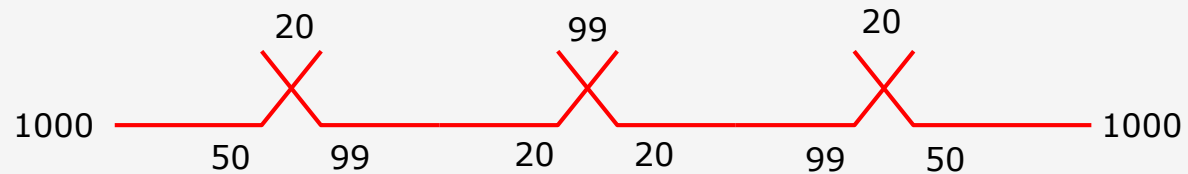


carrée : 102400 pc
 clos : 32240 pc (31.5%)
 gain : 70160 pc

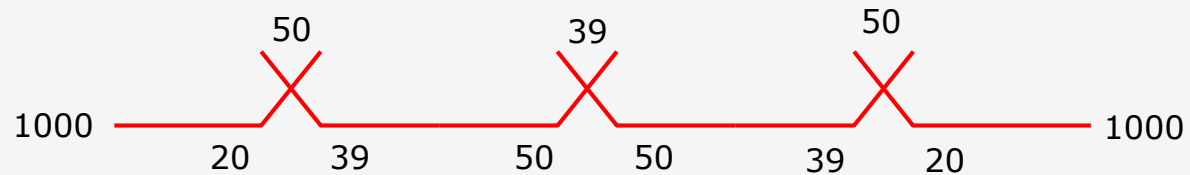


carrée : 1000000 pc
 clos : 175500 pc (17.6%)
 gain : 824500 pc

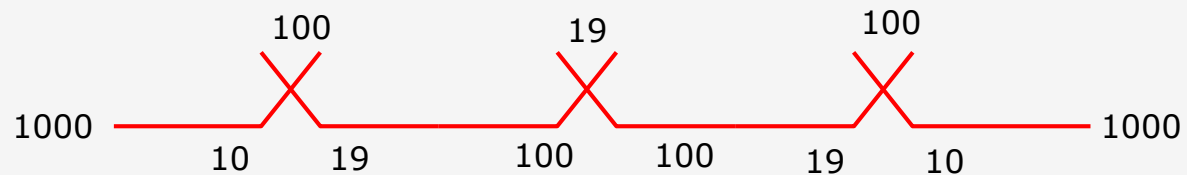
Choix de n et de m



237600 pc



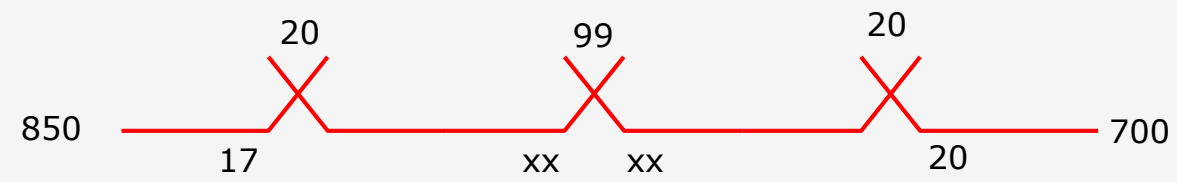
175500 pc



228000 pc

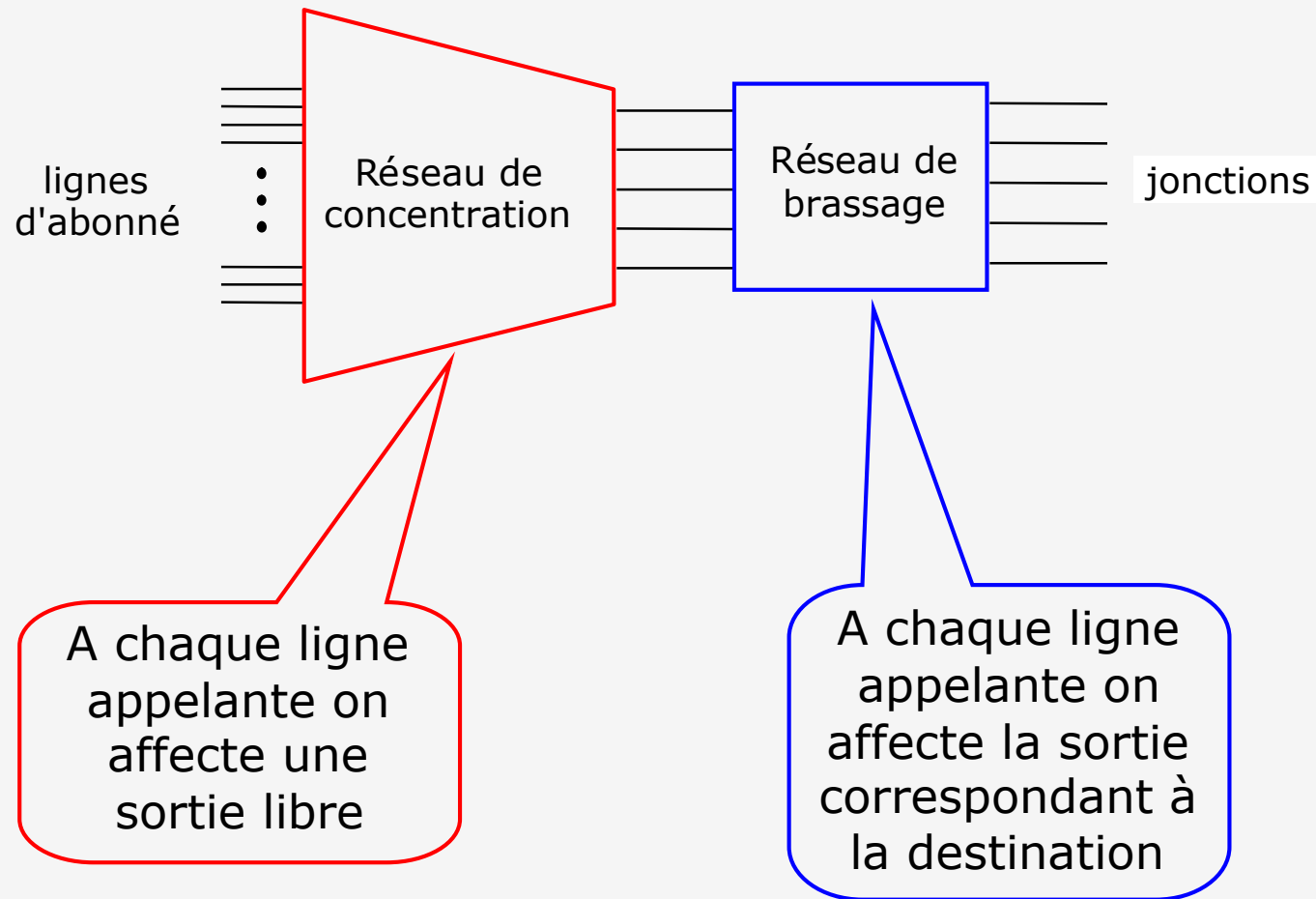
Le nombre de points de connexion optimal est obtenu avec n et m voisins de

$$\sqrt{\frac{N.M}{N+M}}$$



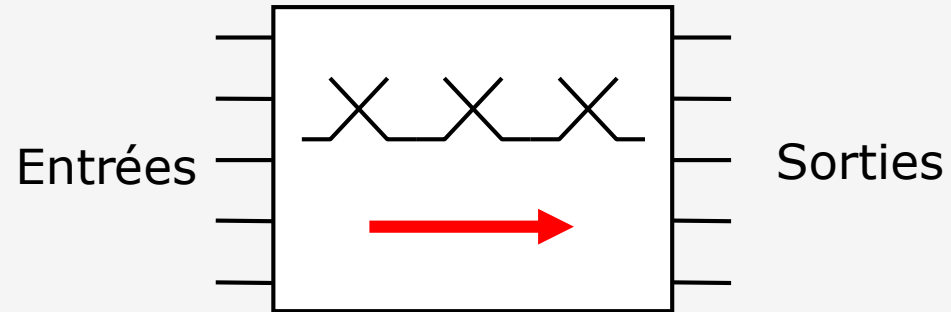
Réseau de concentration et de brassage

Pour Optimiser le réseau de connexion, on le sépare en deux blocs

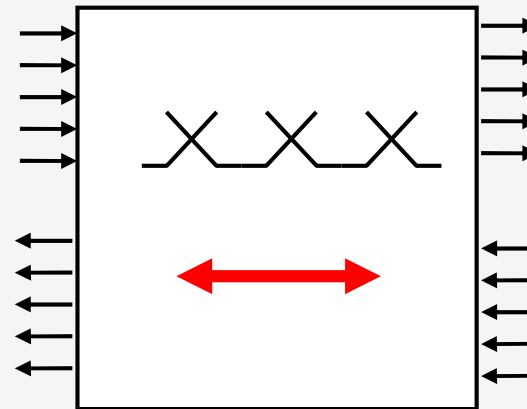


Réseau droit

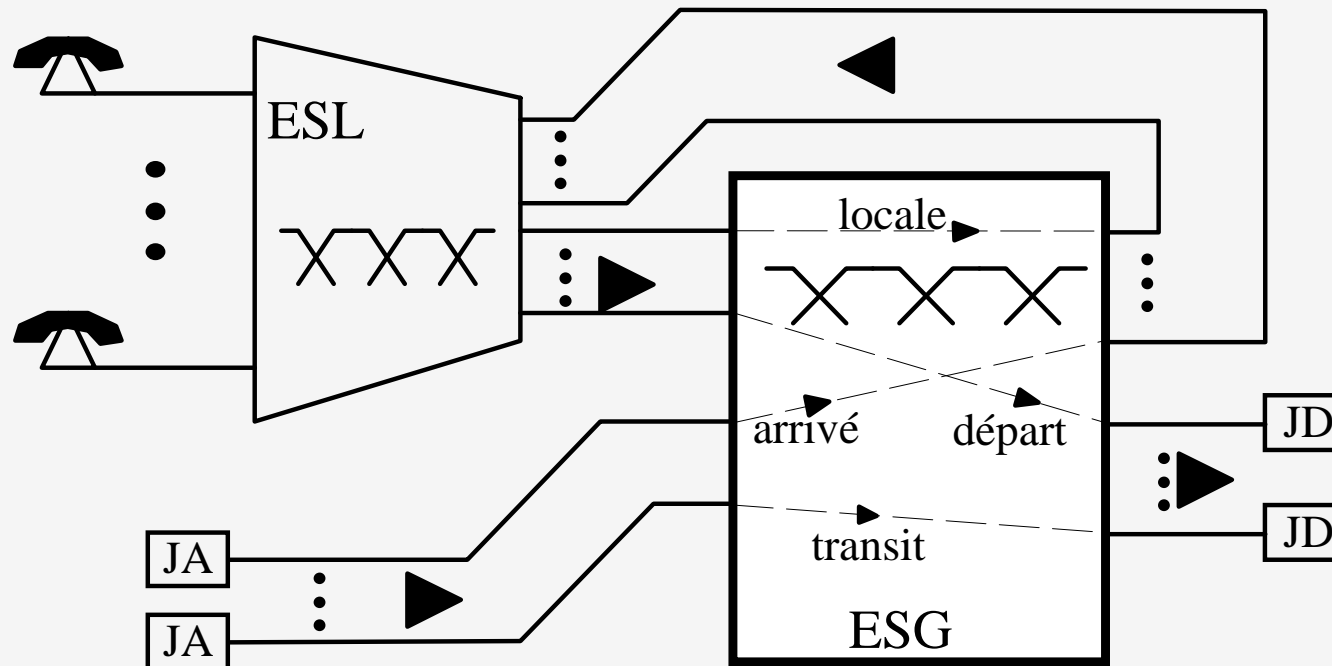
Réseau droit
unidirectionnel



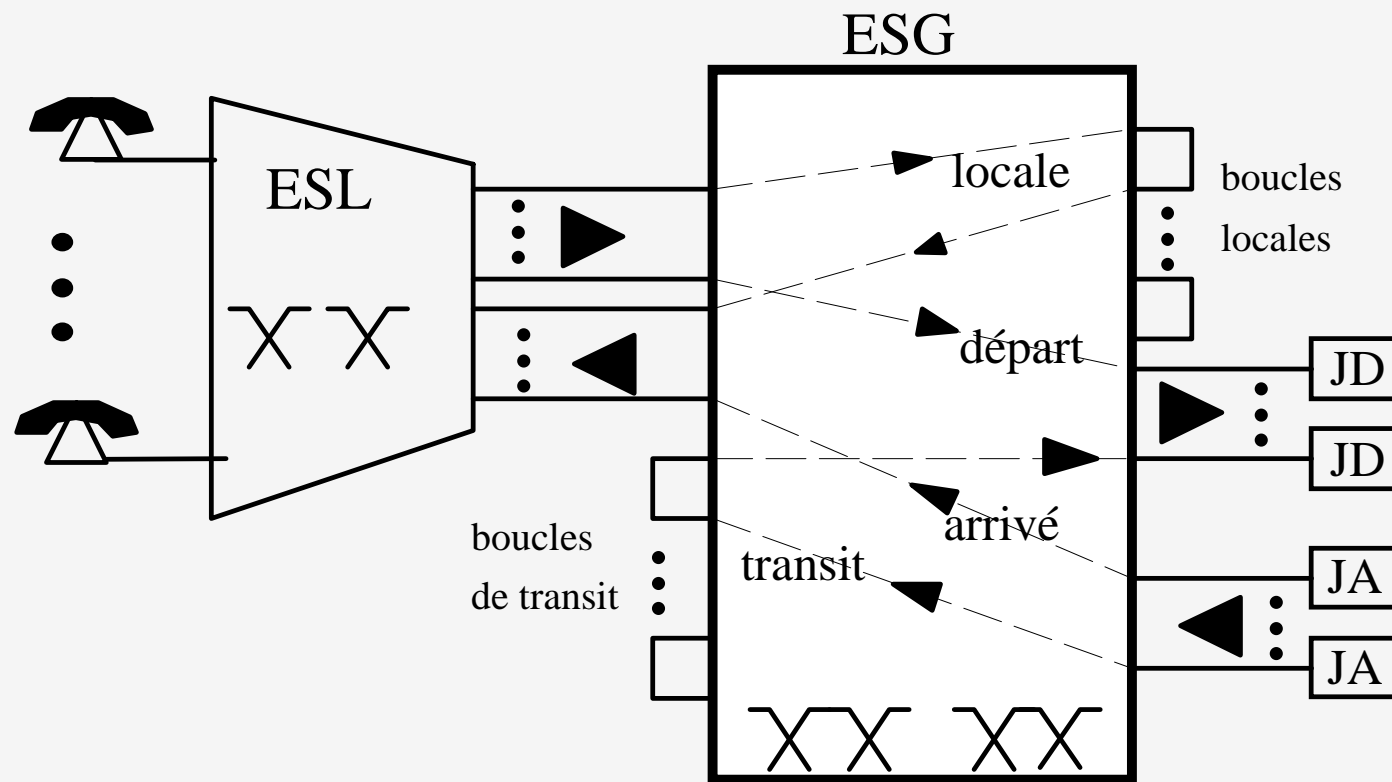
Réseau droit
bidirectionnel



Structure classique d'un réseau de commutation



Repliage par boucles



L'unité de commande d'un commutateur

❑ Fonction de traitement des appels

- Acquisition des états des lignes d'abonnés
- Gérer l'échange et l'analyse de signalisation
- Etudier les acheminements
- Commander le réseau de connexion

❑ Fonction d'exploitation et de maintenance

- Gestion de l'évolution du réseau
- Détection et la localisation des défaillances
- Apparaît comme fonction annexes de la fonction de commutation, elle constitue cependant une partie très importante de l'unité de commande

Structure de la fonction de traitement des appels

Cette fonction est répartie en 2 niveaux

□ Niveau périphérique

- Exploration, distribution, marquage,
- Simplicité de traitement
- Organes câblés ou micro programmés
- Modularité ⇒
 - limiter les conséquences d'une panne
 - faciliter les extensions
- Un organe peut être spécialisé ou polyvalent

□ Niveau de commande

- Partie Intelligente de l'UC
- Traitement des données fournies par le niveau 1
- Gestion de l'enchaînement des tâches (établissement, supervision rupture ...)
- Connaissance en permanence de la situation du système
- Distribue les ordres aux éléments périphériques

Les contraintes fondamentales d'une Unité de Commande

- Capacité de traitement
 - L'architecture du système : Taches plus au moins centralisées, modularité, parallélisme
 - Architecture du calculateur : Processeur, horloge, RAM, temps d'accès disque, Interfaces d'E/S
 - Performance des algorithmes de commutation
 - Environnement : Type d'appels, nombre d'abonnés
- Disponibilité
 - Qualité des sous systèmes constituant l'UC
 - Redondance
- Adaptation avec l'existant
 - l'UC doit être conçue pour fonctionner dans un environnement très hétérogène

Considération sur la disponibilité

MTBF: le temps moyen de bon fonctionnement (entre deux pannes)

MTTR: le temps moyen de réparation

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

$$I = \frac{MTTR}{MTBF + MTTR}$$

$$MTBF_d = \frac{MTBF^2}{2MTTR}$$

$$D_d = \frac{MTBF^2}{MTBF^2 + 2MTTR^2}$$

$$I_d = \frac{2MTTR^2}{MTBF^2 + 2MTTR^2}$$

Exemple

Exemple :

On dispose d'un calculateur dont :

$$\begin{aligned} \text{MTBF} &= 2000 \text{ h,} \\ \text{MTTR} &= 3 \text{ h} \end{aligned}$$

L'indisponibilité prévisionnelle est :

$$I = 1.5 \cdot 10^{-3}$$

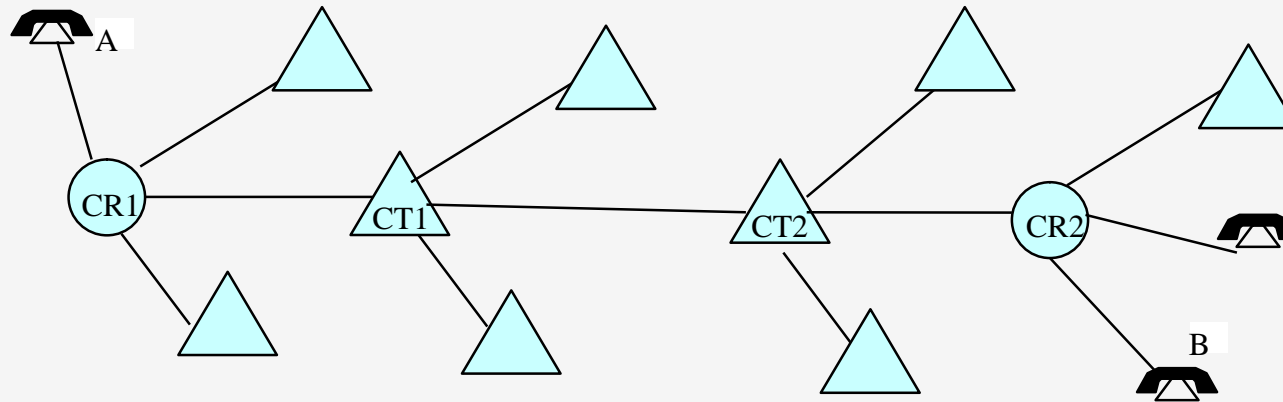
soit **524h** tout **les 40 ans**

Si on double ce calculateur I devient :

$$I = 4.5 \cdot 10^{-6}$$

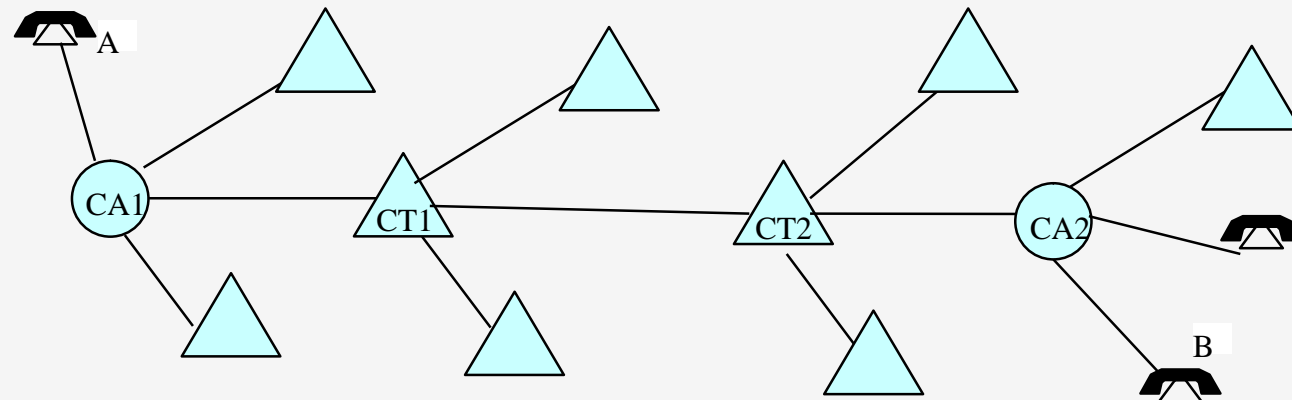
soit **1.6 h** tous les **40 ans**.

Etapes de traitement d'un appel téléphonique



Ce sont les étapes successives par lesquelles passe un appel téléphonique entre le moment où le demandeur (A) décroche pour commencer l'appel et le moment où le demandé (B) décroche pour répondre à l'appel

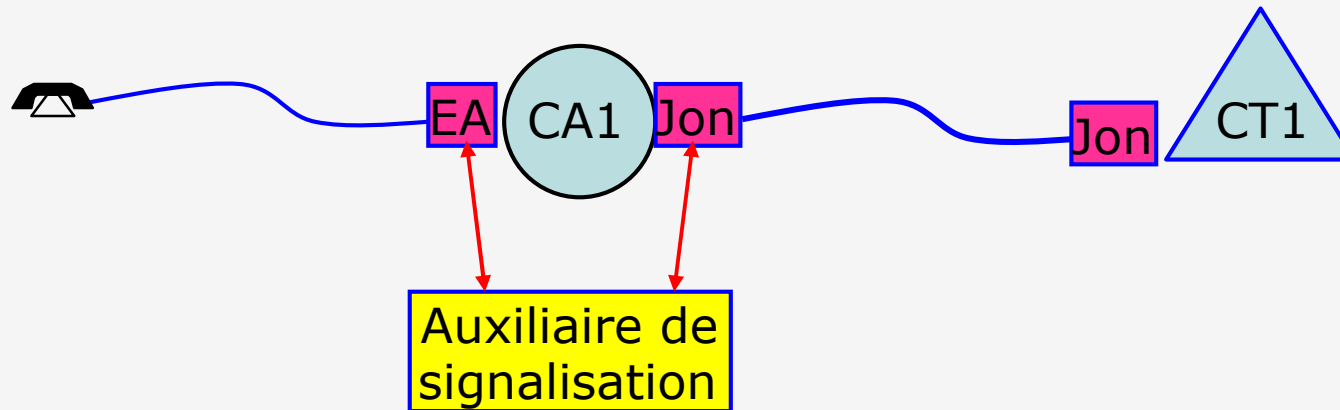
Présélection



C'est la phase qui sépare le moment où l'abonné demandeur décroche et le moment où il reçoit la tonalité d'invitation:

- détecter le décrochage,
- identifier la ligne,
- branchement d'un auxiliaire de numérotation,
- l'envoi de la tonalité d'invitation

Numérotation et Sélection



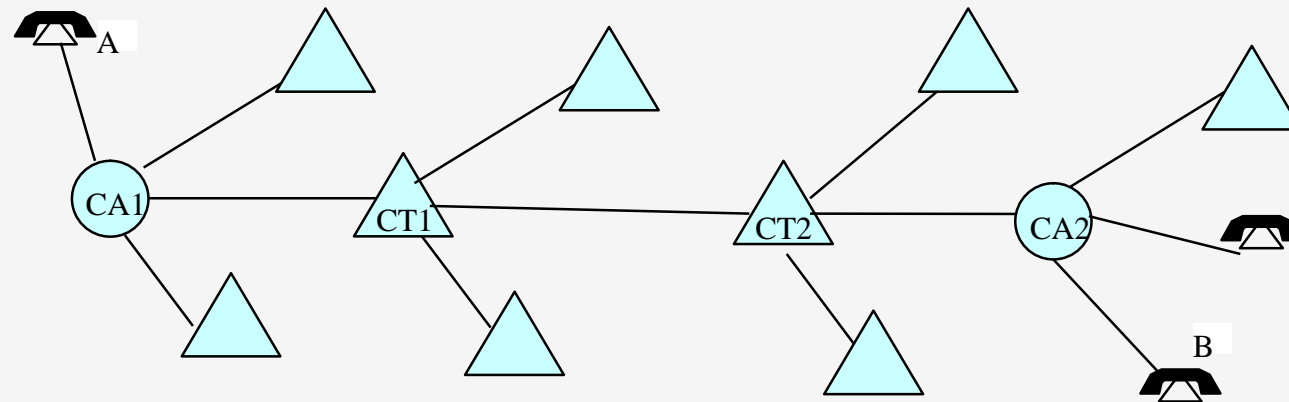
- Numérotation

- CA1 reçoit et enregistre le numéro,
- l'analyse et détermine que l'appel doit être orienté vers CT1,

- Sélection

- CA1 prend alors un circuit libre parmi ceux allant vers CT1,
- Initiation d'une phase de signalisation avec CT1 (décrochage + alo, alo)

Signalisation et connexion



- **Signalisation**

- CA1 envoie le numéro de B à CT1
- CT1 réalise une sélection avec CT2 et passe en transit
- CA1 envoie le numéro de B à CT2
- CT2 réalise une sélection avec CA2 et passe en transit
- CA2 envoie la sonnerie sur la ligne de B

- **Connexion**

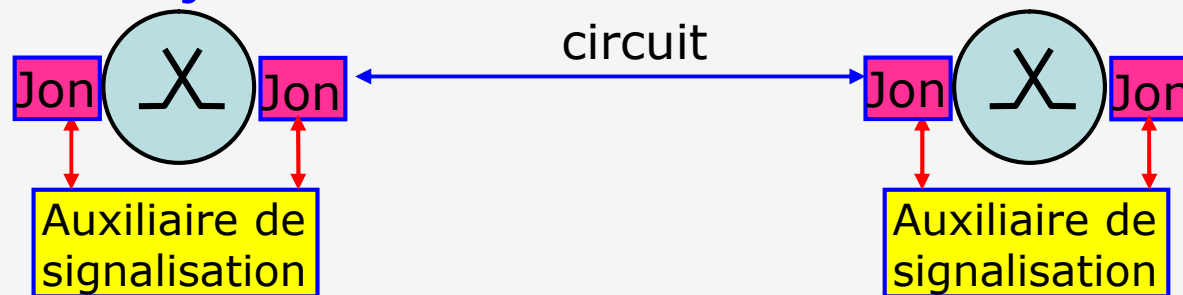
- Au décrochage de B, CA1 et CA2 connectent les lignes de A et de B au circuits sélectionnés et la communication commence

Signalisation

La signalisation concerne toutes les informations échangées par les commutateurs pour établir et superviser les communications téléphoniques

Signalisation Voie par voie

La signalisation est transportée par les circuits qui transportent la voix, dans lesquels elle est injectée à l'aide de joncteurs.



Signalisation sémaphore

La signalisation est transportée par un réseau réservé à la signalisation

Signalisation sémaphore

Parallèlement à la numérisation du réseau téléphonique commuté, la nécessité d'améliorer la rapidité des échanges a été ressentie.

De nouveaux services comme le transfert d'appel ont été ouverts. Ils peuvent nécessiter un échange de signalisation sans établissement réel d'un circuit de communication. Il a donc fallu séparer la signalisation de la transmission et faire transiter cette signalisation sur des liaisons spécifiques. C'est la signalisation par canal sémaphore (CCS Common Canal Signaling).

Signalisation sémaphore

La signalisation par canal sémaphore peut se définir comme étant une méthode dans laquelle une seule voix "le canal sémaphore" achemine grâce à des messages étiquetés, l'information de signalisation se rapportant à une multiplicité de circuits ou à des messages de gestion et de supervision.

L'ensemble des canaux sémaphores forme un réseau spécialisé dans le transfert de la signalisation, appelé SS7 (Signaling system 7). Ce réseau sémaphore fonctionne suivant le principe de commutation de paquets.

Signalisation sémaphore

Eléments du réseau sémaphore

L'ensemble des canaux sémaphores forme un réseau spécialisé dans le transfert de la signalisation, appelé SS7 (Signaling system 7). Ce réseau sémaphore fonctionne suivant le principe de commutation de paquets. Il possède des commutateurs de paquets et des équipements terminaux qui sont les canaux téléphoniques. Grâce au réseau sémaphore, deux centraux peuvent s'échanger à tout moment des messages de signalisation indépendamment des circuits établis entre eux.

Eléments du réseau sémaphore (2)

Dans un environnement SS7, tout commutateur est schématiquement composé d'un réseau de connexion, d'une unité de commande et d'un terminal sémaphore.

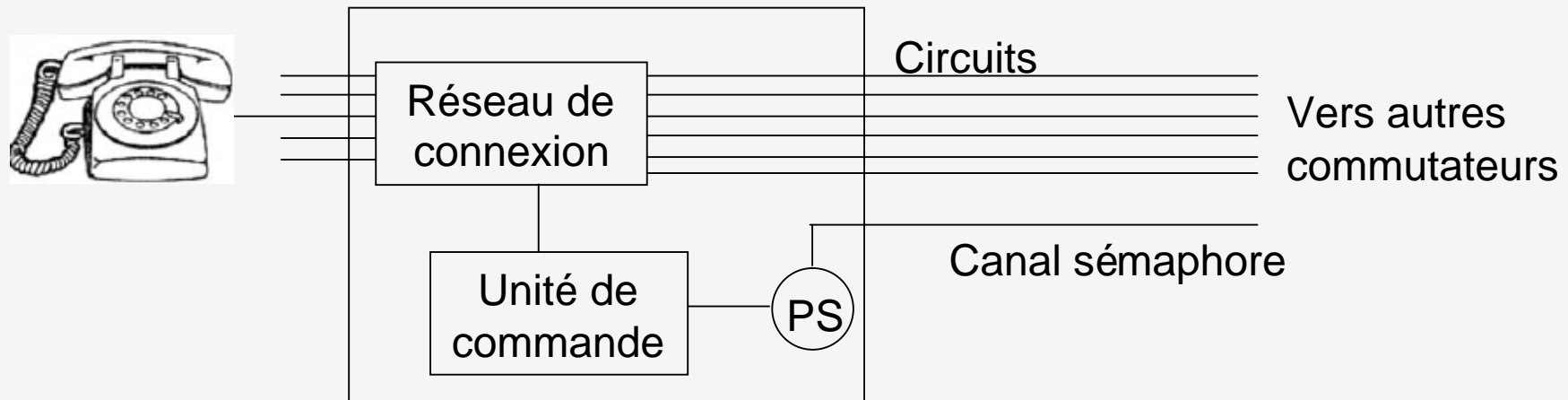


Figure 1 Représentation schématique d'un commutateur

Le réseau de connexion est un ensemble de matrice effectuant la commutation des différents circuits.

L'unité de commande est u ordinateur qui commande le réseau de connexion

Eléments du réseau sémaphore (3)

Le terminal sémaphore possède une ou plusieurs entrée/sorties SS7 et est relié à l'unité de commande. Le dialogue entre les commutateurs est fait par les terminaux sémaphores qui agissent donc comme source et puits de signalisation et donc de messages SS7. cette fonction est appelé "Point Sémaphore (PS)" ou Signaling Point (SP).

Le réseau SS7 permet de faire communiquer un ensemble de PS entre eux. Il est réalisé grâce à des commutateurs de paquet appelés "Point de Transfert Sémaphore (PTS)" . Il est néanmoins possible de relier deux PS entre eux.

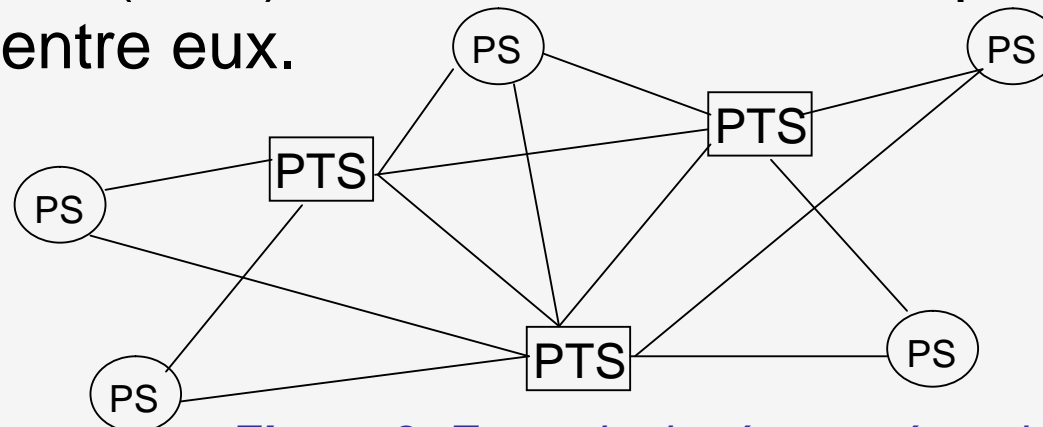


Figure 2: Exemple de réseau sémaphore

Eléments du réseau sémaphore (4)

Un central téléphonique appartient donc à deux réseaux: le réseau sémaphore SS7 pour le quel il est repéré par une adresse spécifique, et le réseau de transmission qui englobe les circuits téléphoniques. Ces deux réseaux sont souvent représentés par deux plan parallèles. Un central téléphonique a nécessairement la fonction PS puisqu'il appartient au réseau SS7, mais il peut aussi avoir la fonction PTS et servir de relais à des messages sémaphore qui ne lui sont pas destinés.

Les deux réseaux utilisent le même support de transmission physique mais leurs liaisons sont gérées de manière indépendante, comme si elles étaient physiquement séparées.

Structure d'un réseau sémaphore

Mode sémaphore

Il existe trois modes sémaphores pouvant être utilisés. Ces trois modes dépendent de la relation entre le canal et l'entité qu'il sert.

Mode associé

C'est le mode le plus simple. Dans ce dernier le canal sémaphore est parallèle au circuit de parole pour lequel il permet l'échange de signalisation. Il est forcément établi entre deux points sémaphore.

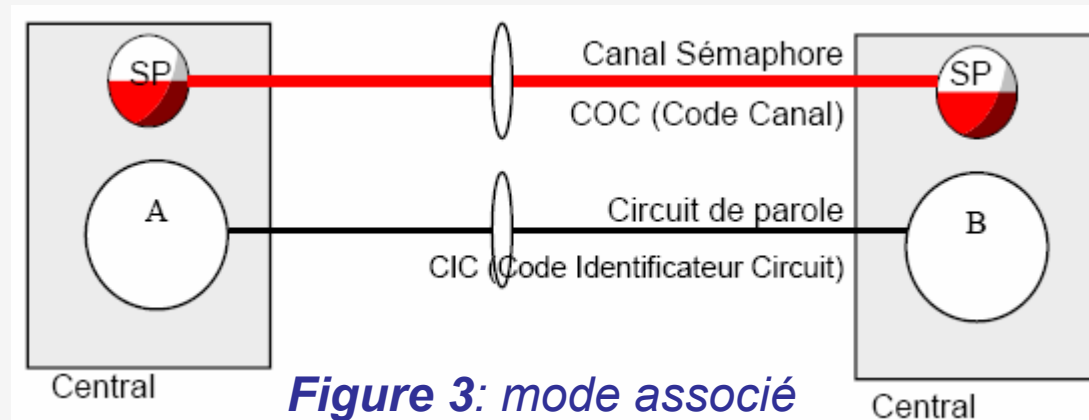


Figure 3: mode associé

Mode sémaphore (2)

L'inconvénient majeur est qu'il requiert un canal sémaphore entre un SP donné et tous les autres SPs. Les messages de signalisations suivent alors la même route que la voix mais sur des supports différents.

Mode non associé

Le mode non associé utilise un chemin différents de celui de la voix. Un grand nombre de nœuds intermédiaires, à savoir les points de transfert sémaphores est impliqué dans l'acheminement des messages de signalisation. Les STPs sont utilisés afin de router les données de signalisations entre SPs. Le fonctionnement de ce mode est similaire à celui du protocole IP.

Mode sémaphore (3)

Mode quasi-associé

Ce mode ressemble au mode non associé mais un nombre minimum (au moins 2) de SPT est traversé pour atteindre la destination finale. C'est le mode le plus utilisé afin de minimiser le temps nécessaire à l'acheminement du message. Par ailleurs, les messages acheminés vers une destination donnée emprunte tous la même route.

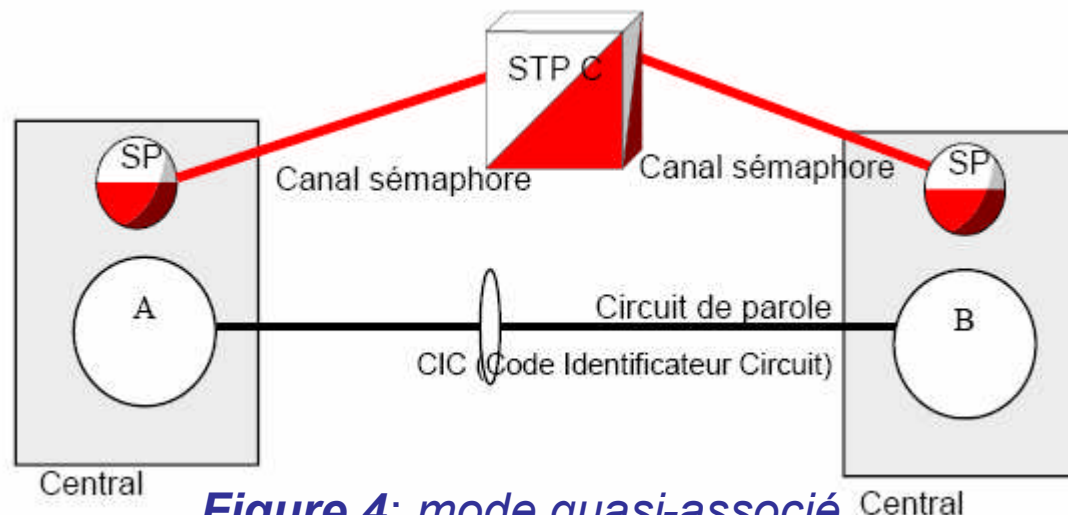
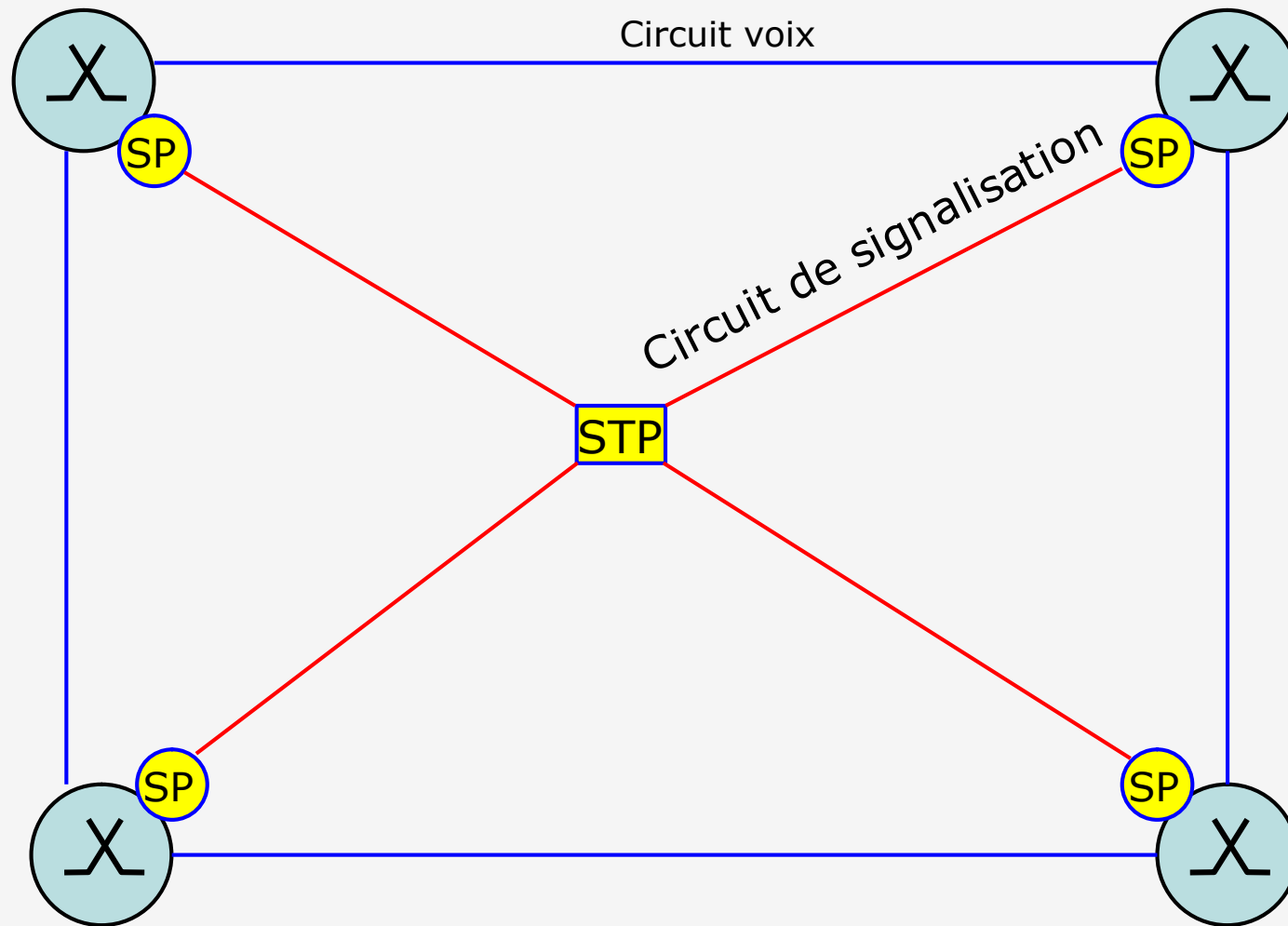


Figure 4: mode quasi-associé

Signalisation Sémaphore



Signalisation analogique voie par voie

Les signaux **Hors bande**

Ce sont des signaux comme la rupture ou le rétablissement du courant de boucle, l'inversion de polarité ou le changement d'état (impédance) de la ligne.

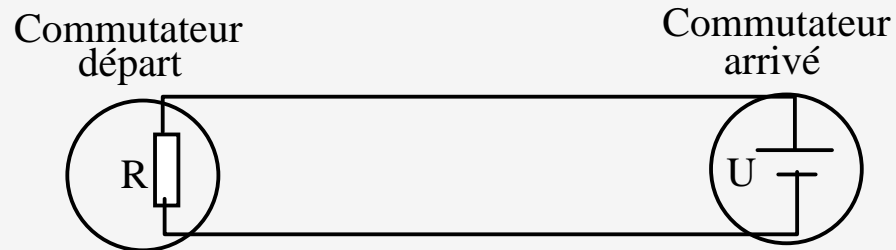
Le plus souvent, ces signaux constituent ce qu'on appelle les signaux de **ligne**, car ils sont relatifs à l'engagement d'un circuit entre autocommutateurs comme, les signaux de prise ou de libération,

Les signaux **dans bande**

Ce sont les signaux dont la fréquence est incluse dans la bande téléphonique, ce sont en général des signaux multifréquences semblables aux signaux DTMF utilisés par la signalisation d'abonné.

On les appelle signaux **d'enregistreur**, car ils concernent la numérotation

Aspect électrique



C'est toujours le commutateur d'arrivé (distant) qui alimente la ligne par une tension continue U , et le commutateur de départ ferme la ligne sur une impédance R . Les signaux vers l'avant sont réalisés par changement de la valeur de R (f , F , o) donc du courant de boucle alors que les signaux vers l'arrière sont réalisés par inversion de la polarité de U

Système de signalisation MF-SOCOTEL

Ce système comporte deux types de signalisation : une signalisation hors bande dite signalisation de ligne et une signalisation dans bande dite signalisation d'enregistreur

Les signaux de ligne :

Information	Sens	Boucle	Alim
Contrôle disponibilité	$A \leftarrow B$	F	N
Prise	$A \rightarrow B$	f	N
Contrôle de prise	$A \leftarrow B$	f	P
Réponse du Ddé	$A \leftarrow B$	f	N
Raccrochage du Ddé	$A \leftarrow B$	f	P
Fin	$A \rightarrow B$	o	N

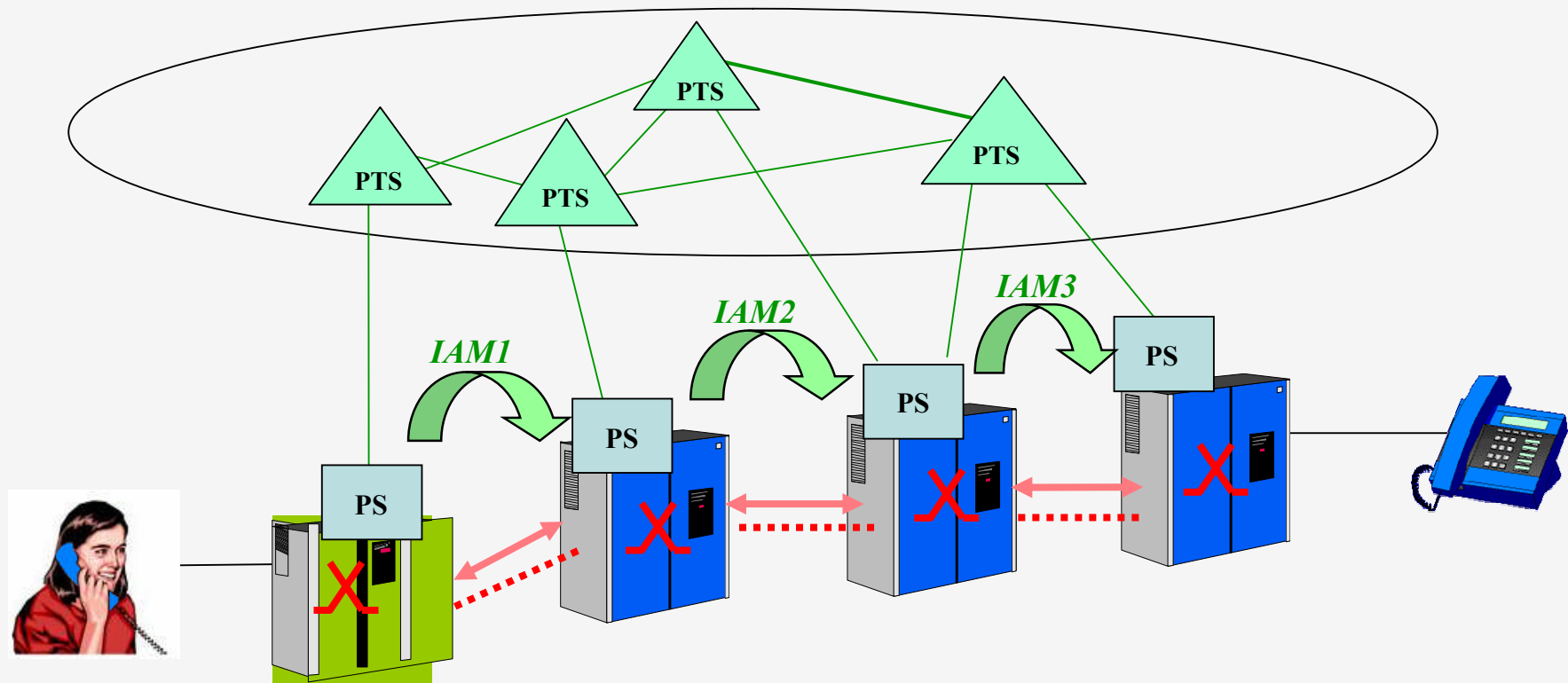
Les signaux d'enregistreur - arrière

Combinaison n 2 parmi 5	CODE A code de sélection	CODE B état du demandé	CODE C identification du Ddr
f0 + f1	A1: envoyez le signal d'accès et les 2 ou 4 premiers chiffres	B1: demandé libre avec taxation	C1: Envoyez la catégorie du demandeur est 4 premiers chiffres de son numéro national (ABPQ)
f0+f2	A2: envoyez les derniers chiffres	B2: demandé libre sans taxation	C2: envoyez les 4 derniers chiffres du Ddr (MCDU)
f1+f2	A3: passage au code B	B3: demandé coupé	C3: passage au code B
f0+f4	A4: passage au code C	B4: passage en conversation	C4: passage au code A
f1+f4	A5: envoyez la catégorie demandeur	B5	C5
f2+f4	A6: Transit normal	B6	C6
f0+f7	A7	B7	C7
f1+f7	A8	B8	C8
f2+f7	A9: encombrement	B9	C0
f4+f7	A0	B0: abonné absent	
	↓	↓	↓

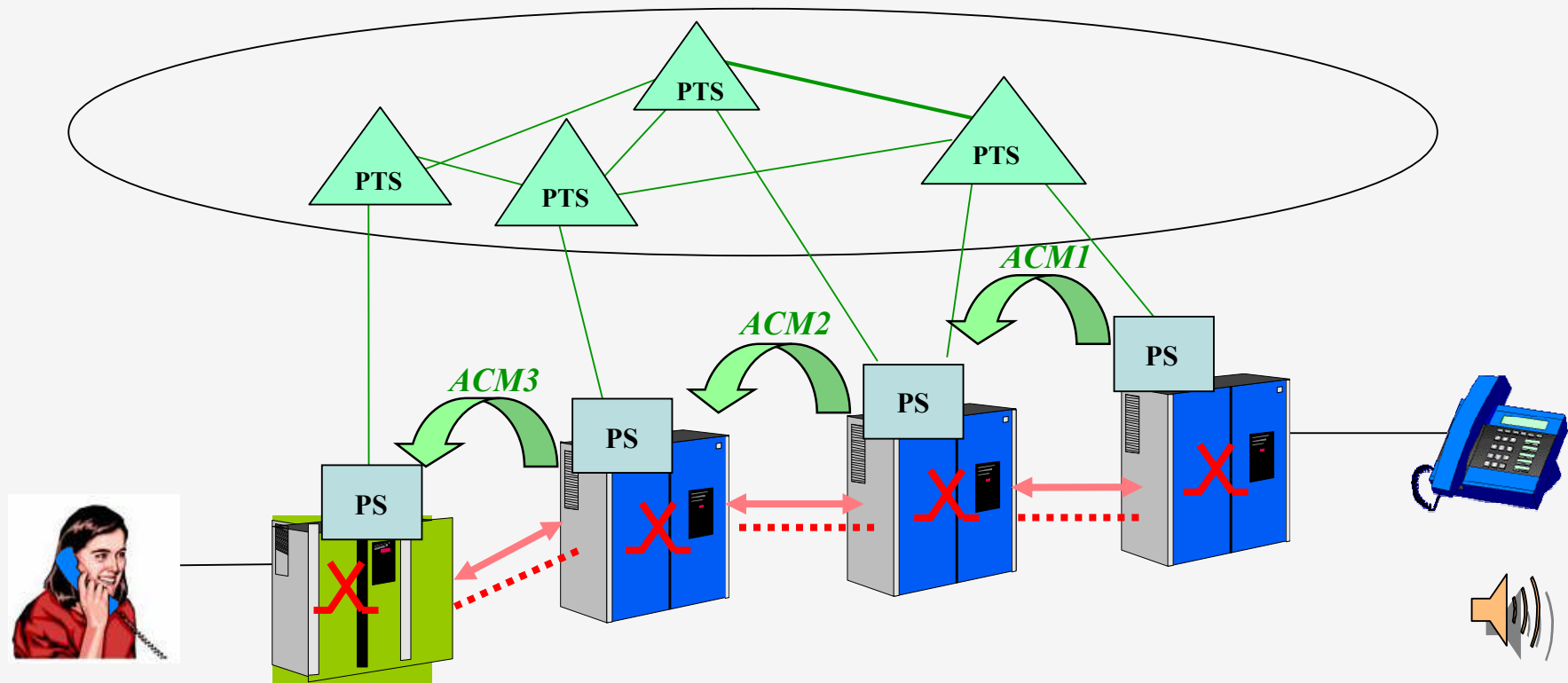
Les signaux d'enregistreur - avant

Combinaison (2 parmi 5)	Code d'accès (informations préliminaires)	Code numérique	Code des catégories de l'abonné demandeur
f0 + f1	a1: régional	b1: chiffre 1	c1: abonné à cadran
f0+f2	a2	b2: chiffre 2	c2: abonné à cadran avec justification de compte
f1+f2	a3 : national	b3: chiffre 3	c3: abonné absent
f0+f4	a4	b4: chiffre 4	c4: abonné "non identifiable"
f1+f4	a5: appel à 2 chiffres	b5: chiffre 5	c5
f2+f4	a6	b6: chiffre 6	c6: abonné à clavier
f0+f7	a7	b7: chiffre 7	c7: abonné à clavier avec justification de compte
f1+f7	a8	b8: chiffre 8	c8: passage en code supplémentaire de catégorie
f2+f7	a9	b9: chiffre 9	c9: cabine de nuit
f4+f7	a0	b0: chiffre 0	c0: opératrice

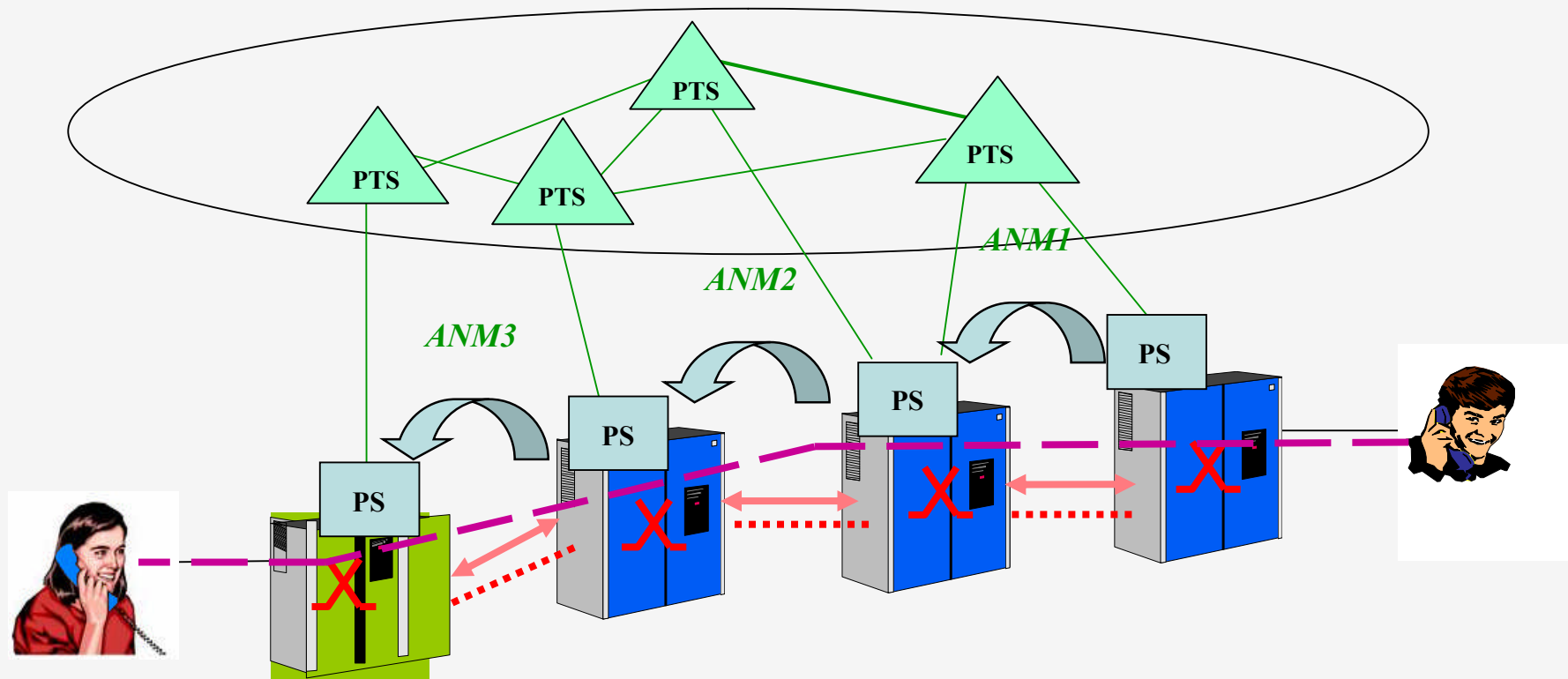
Simulation d'appel (1)



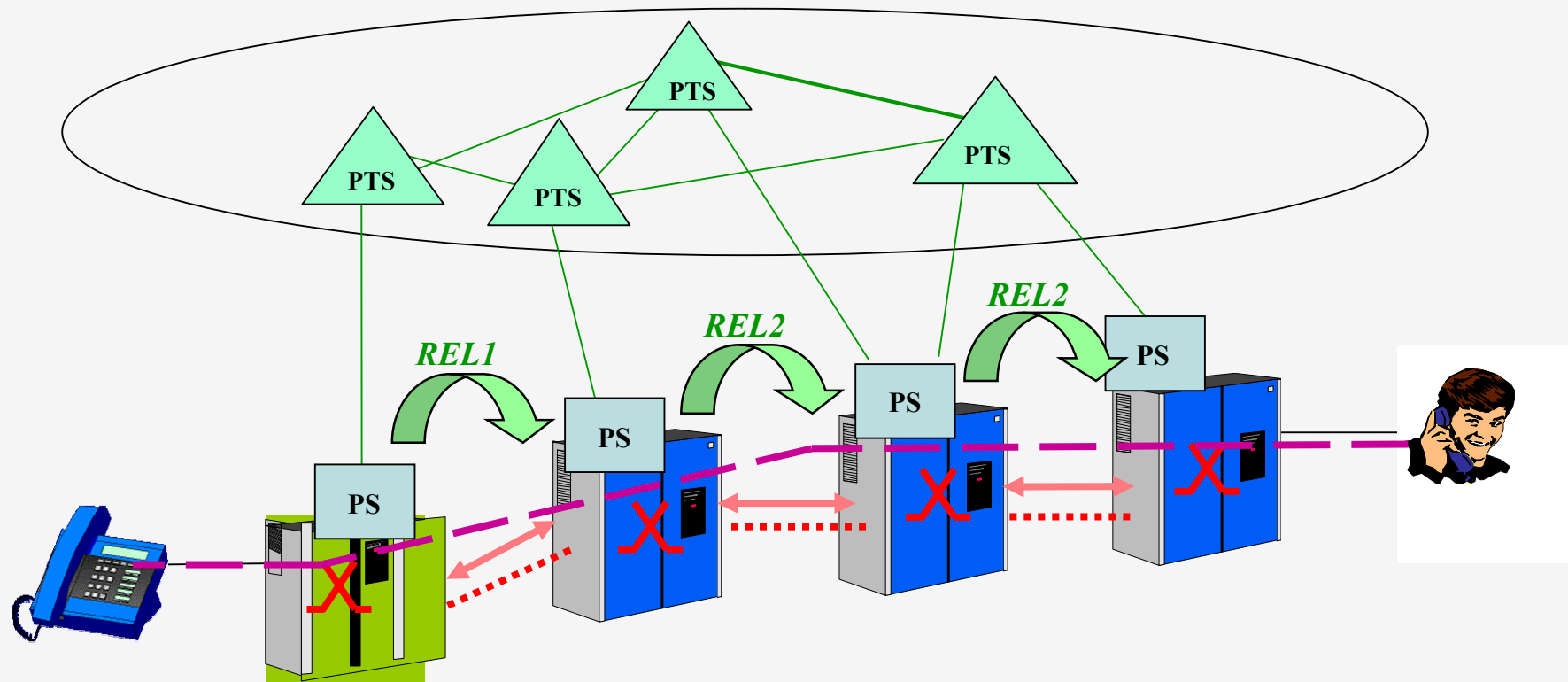
Simulation d'appel (2)



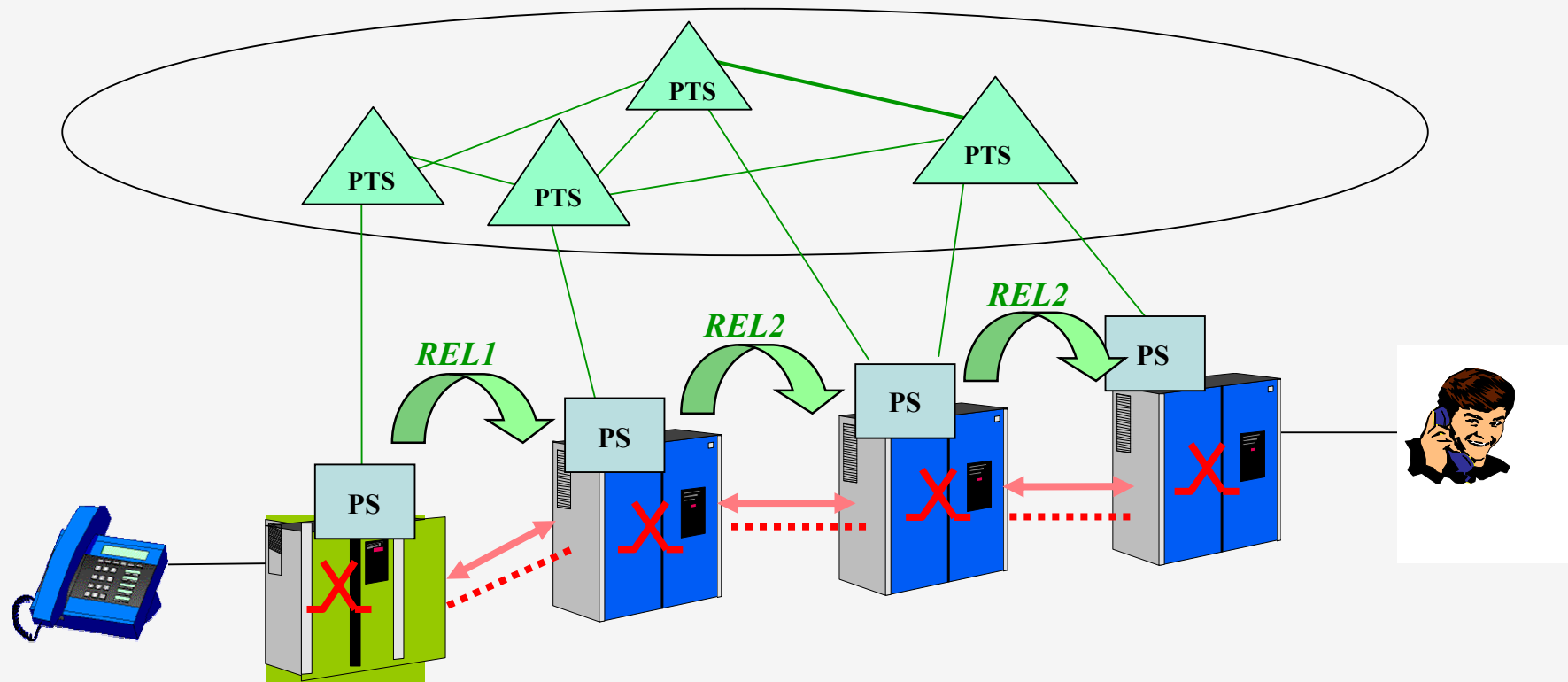
Simulation d'appel (3)



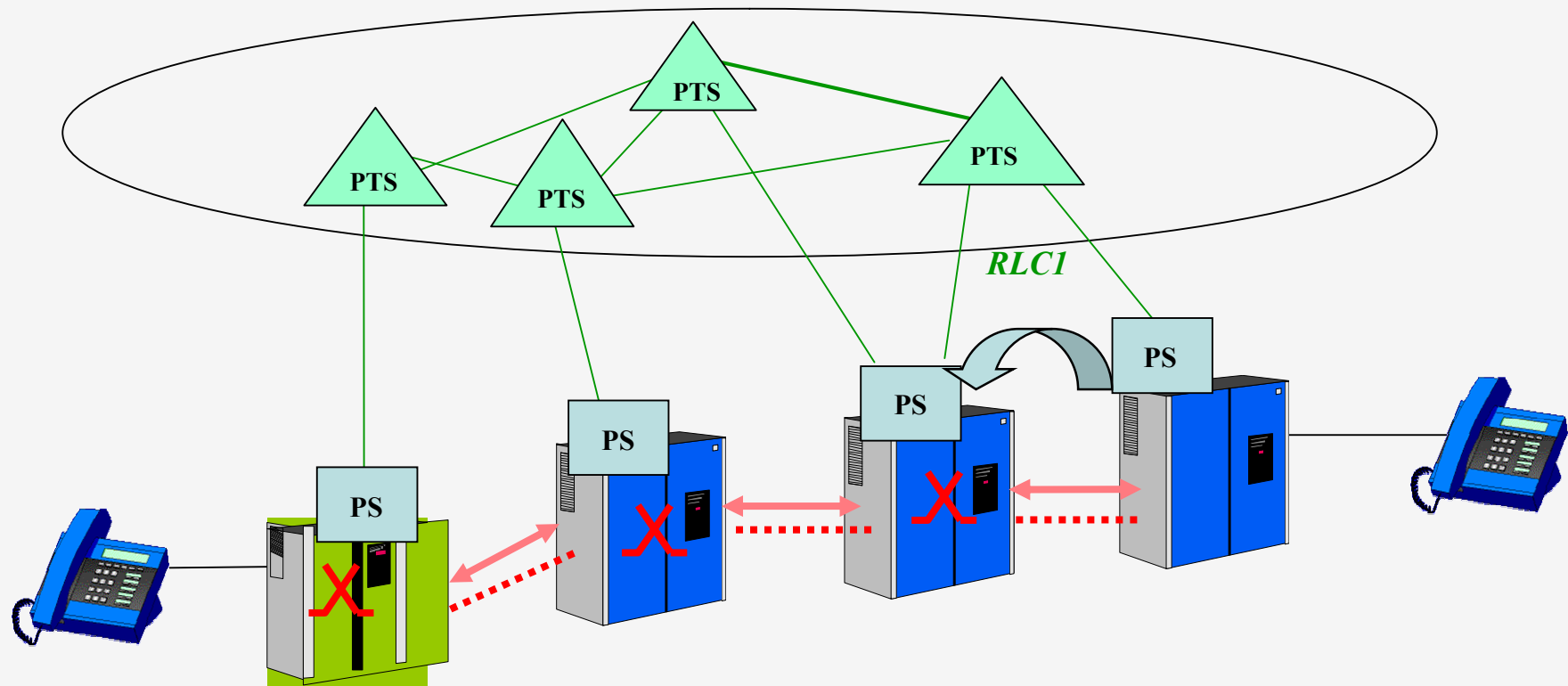
Simulation d'appel (4)



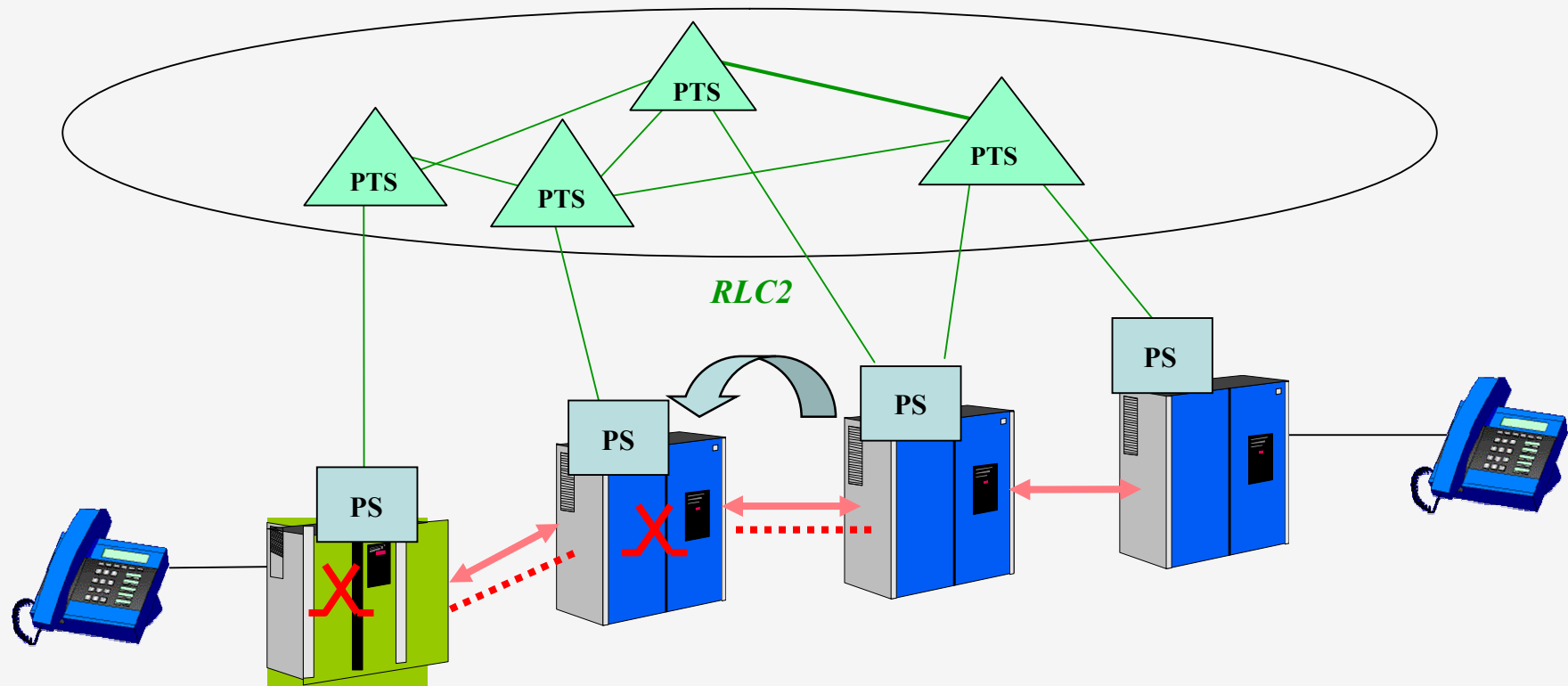
Simulation d'appel (5)



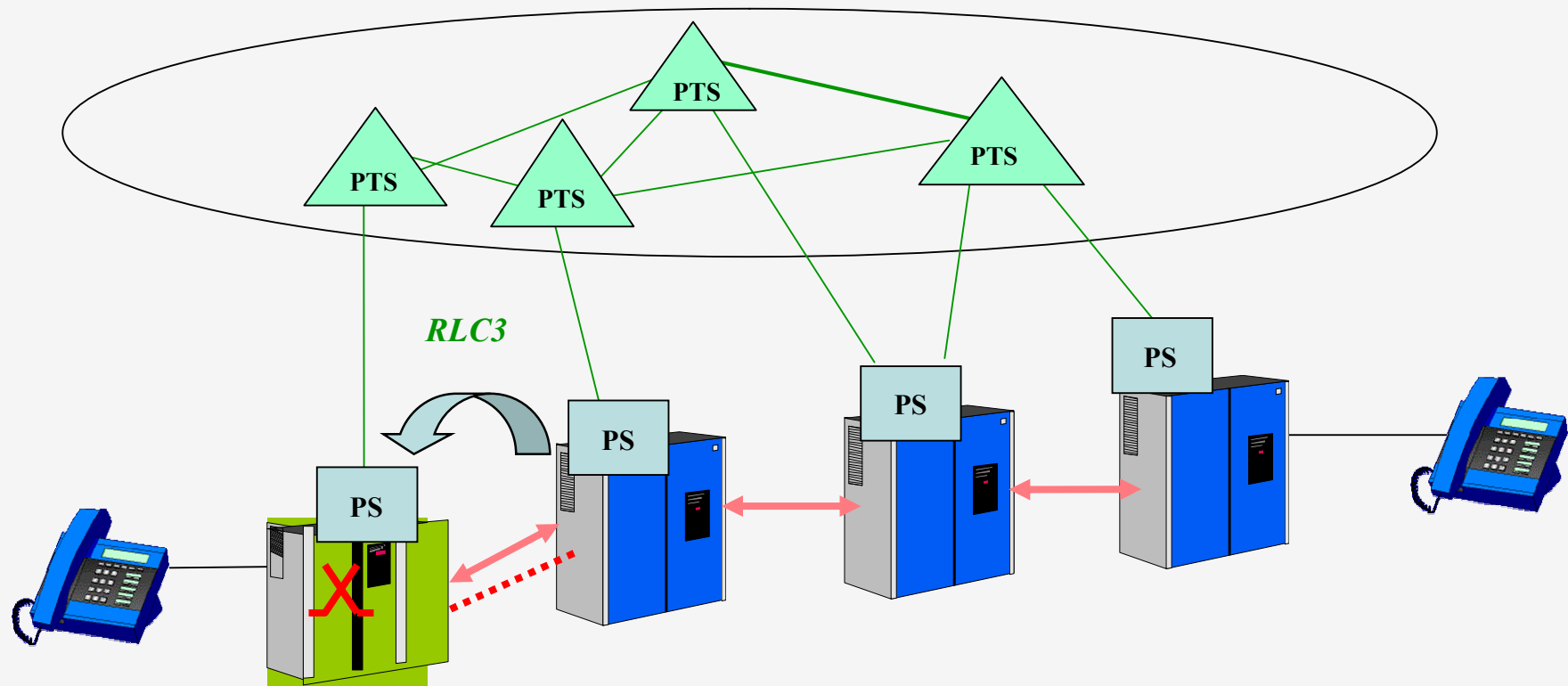
Simulation d'appel (6)



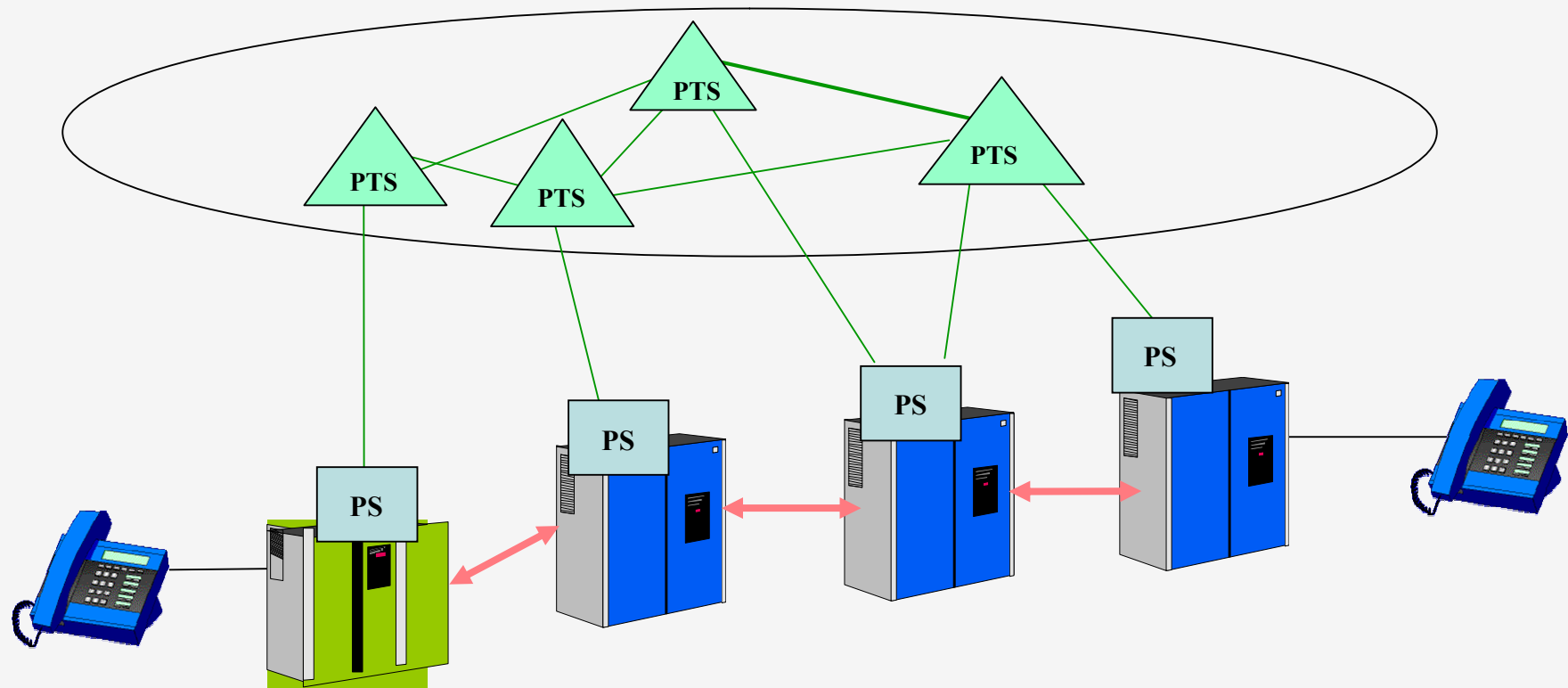
Simulation d'appel (7)



Simulation d'appel (8)



Simulation d'appel (9)

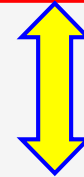


Qualité d'une communication

Qualité d'une communication



Intensité sonore arrivant à l'oreille du destinataire



- Rendement du transducteur d'émission (microphone)
- Rendement du transducteur de réception (écouteur)
- Affaiblissement global du bout en bout
- Distorsion globale du bout en bout

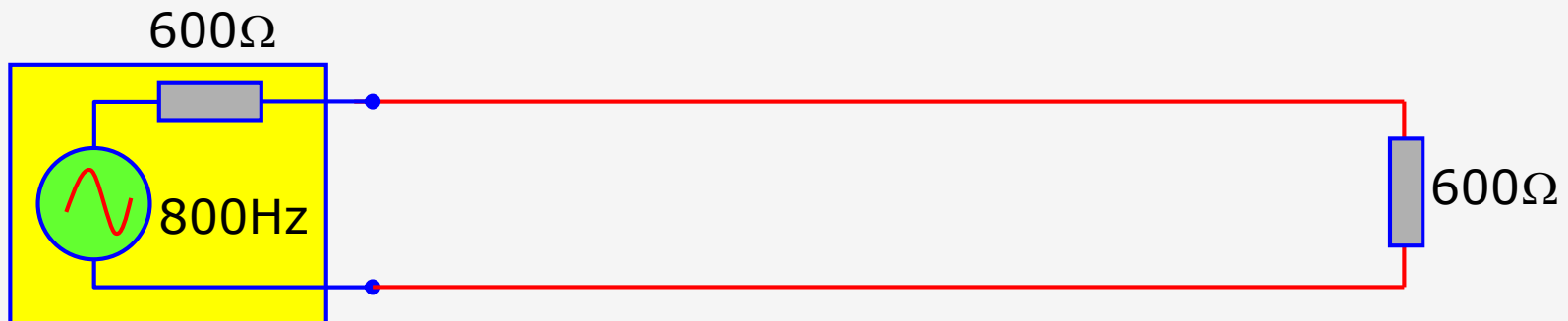
Equivalent d'affaiblissement

L'affaiblissement d'une ligne la transmission dépend de:

- L'impédance de charge de la ligne
- La fréquence de travail

Ces paramètres n'étant pas constants, la ligne sera Caractérisée par son **Equivalents d'affaiblissement**

Equivalents d'affaiblissement d'une ligne est l'affaiblissement introduit par cette ligne si elle est attaquée par un générateur d'impédance interne 600Ω et de fréquence 800 Hz et fermée sur une impédance de 600Ω



Equivalent d'affaiblissement d'un Poste Téléphonique

L'équivalent d'un poste téléphonique ne peut être mesuré car d'un côté on a un signal **acoustique**, de l'autre un signal **électrique**

On détermine son équivalent en faisant une mesure **subjective** qui consiste à le comparer par rapport à un poste étalon appelé **NOSFER** (*Nouveau Système Fondamental pour la détermination des Equivalents de Référence*)

Vue la nature très différente du microphone et de l'écouteur, l'équivalent en transmission (**8 à 12 dB**) est très différent de l'équivalent en réception (**1 à 2 dB**)

Distorsion d'affaiblissement

La distorsion d'affaiblissement intervient quand les signaux de fréquences différentes ne subissent pas le même affaiblissement. Ce qui est le cas en général.

Dans le réseau téléphonique, La distorsion d'affaiblissement est définie comme la différence entre l'affaiblissement mesuré à 3400Hz et celui mesuré à 800 Hz

$$\text{Distorsion} = \text{Aff}(3400\text{Hz}) - \text{Aff}(800\text{Hz})$$

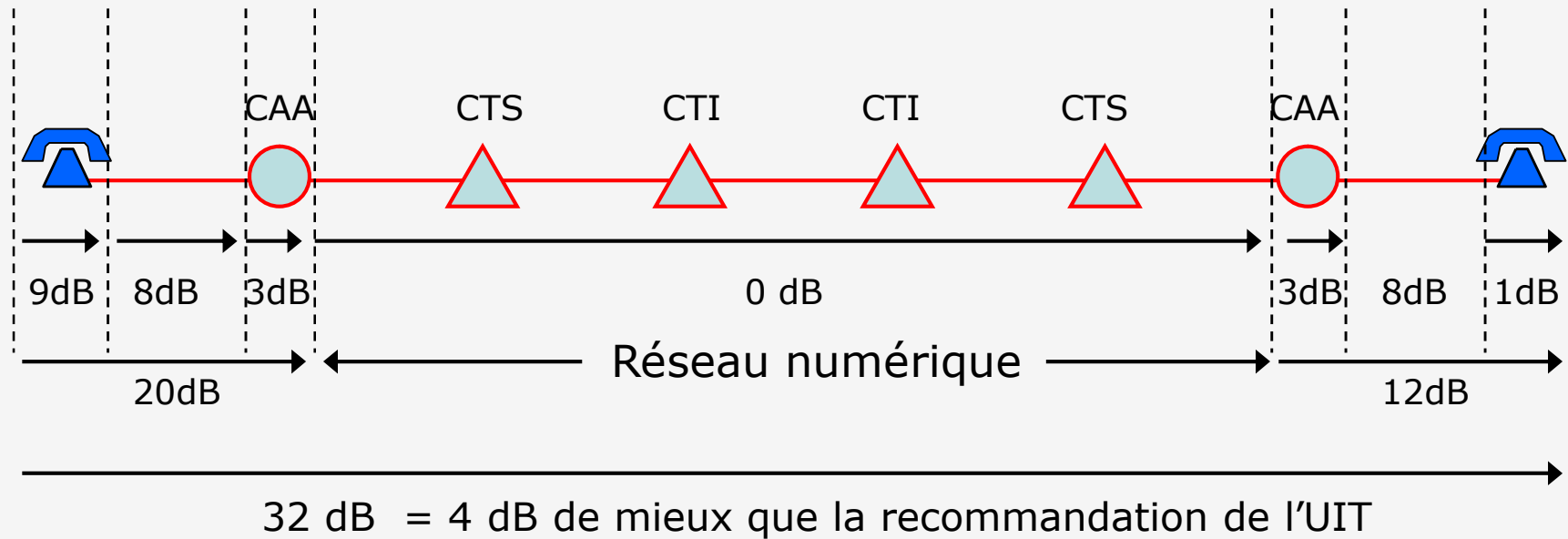
Une distorsion trop importante peut avoir un effet de déformation qui diminue l'intelligibilité de la voix

Réglementation

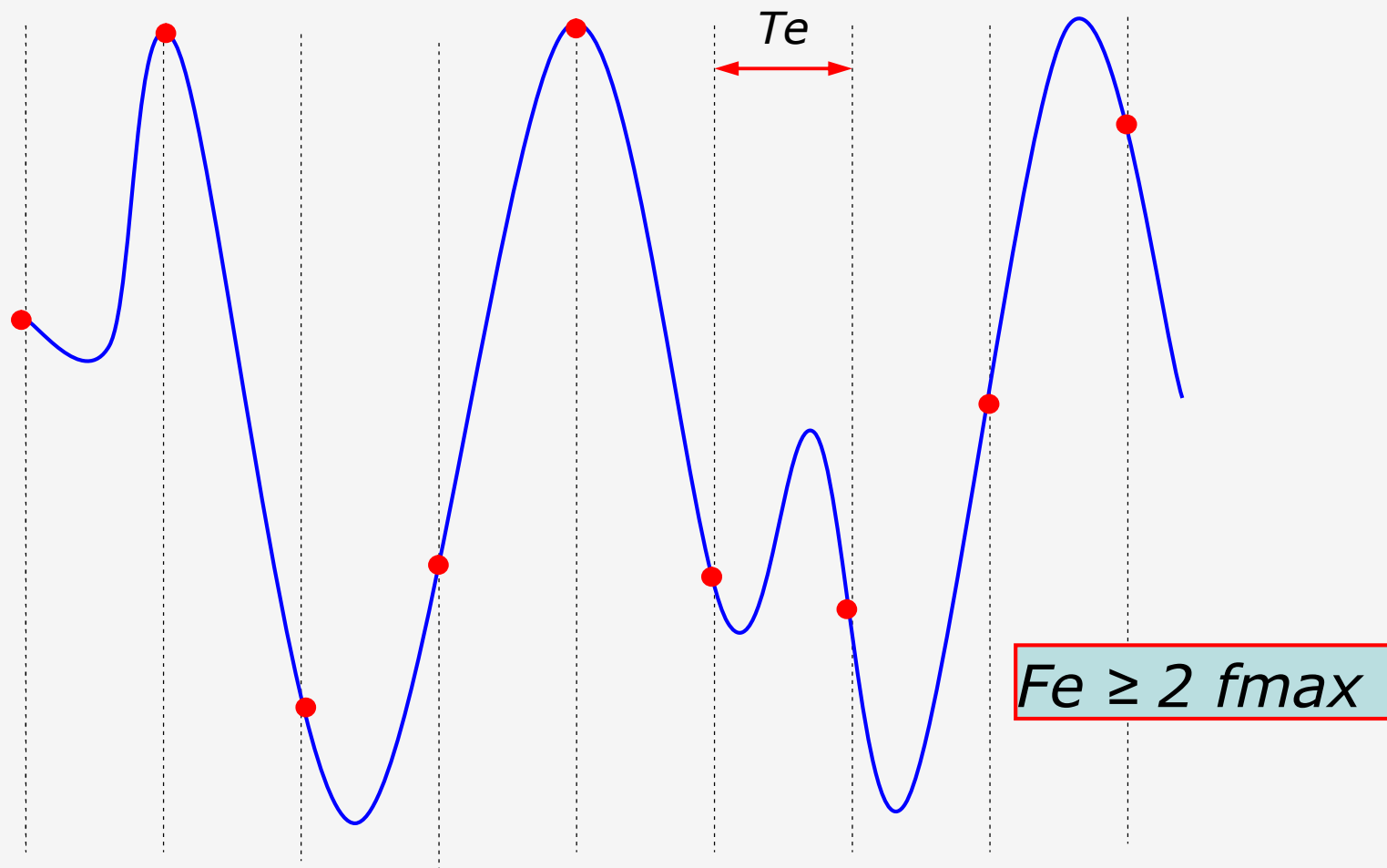
Pour garantir une qualité de communication convenable à deux abonnés quelque soit leur position géographique, l'UIT a émis les recommandations suivantes :

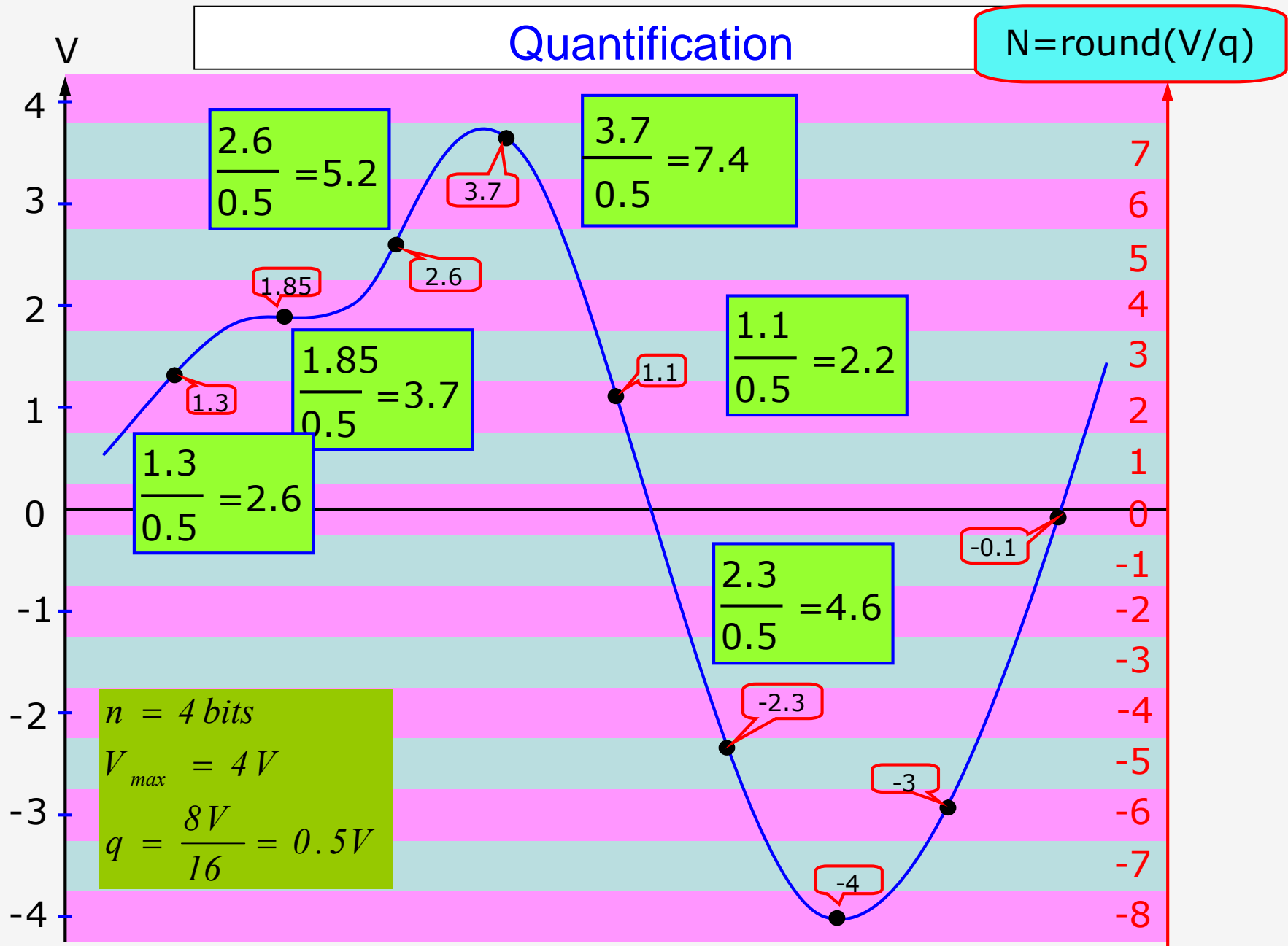
- L'équivalent d'affaiblissement de bout en bout ne doit pas dépasser **36dB** dont 3dB au maximum dans le réseau international
- Les 33dB à consommer dans les 2 réseaux nationaux sont répartis comme suit
 - Réseau national coté émetteur : **21 dB**
 - Réseau national coté récepteur : **12 dB**
- Une liaison téléphonique ne doit pas comporter plus de **14 tronçons** dont 6 au maximum dans le réseau international
- L'équivalent d'un tronçon international ne doit pas dépasser 0.5 dB
- La **distorsion d'affaiblissement** ne doit pas dépasser **26dB**

Exemple de répartition

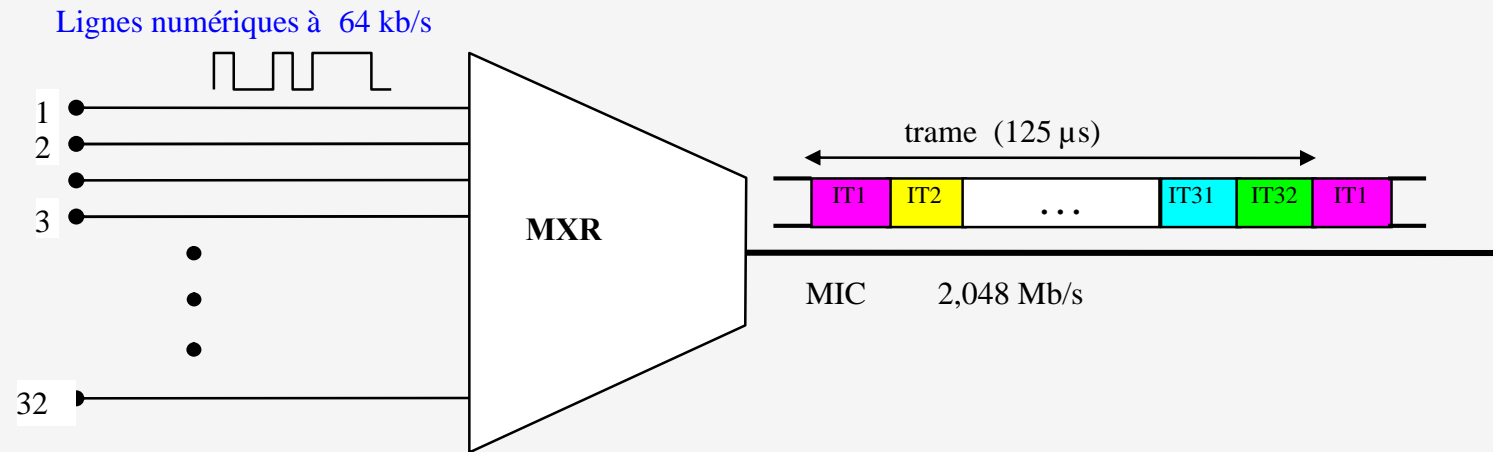


Echantillonnage



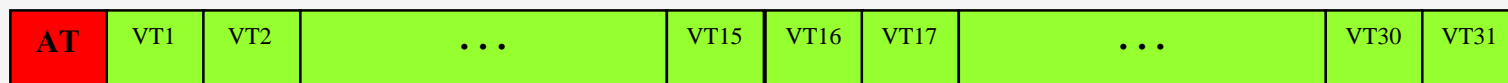


Multiplexage



Pour que le récepteur puisse identifier à qui appartient chaque échantillon, on a affecté au premier slot un drapeau **AT** qui permet de repérer le début de la trame. Les échantillons de la voix sont alors numérotés et chacun est repéré à l'aide de sa position dans la trame.

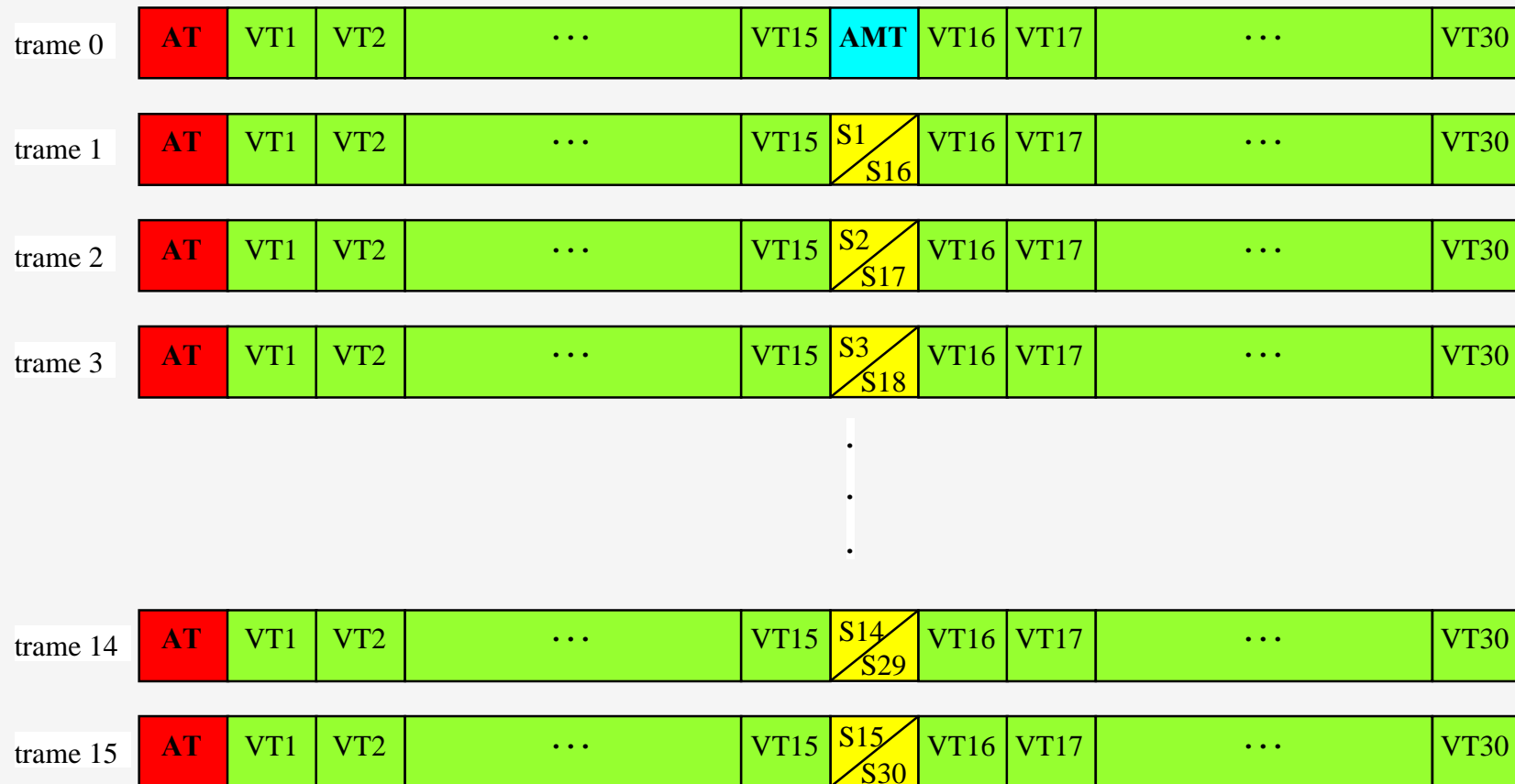
C'est la technique d'adressage du multiplexage TDMA



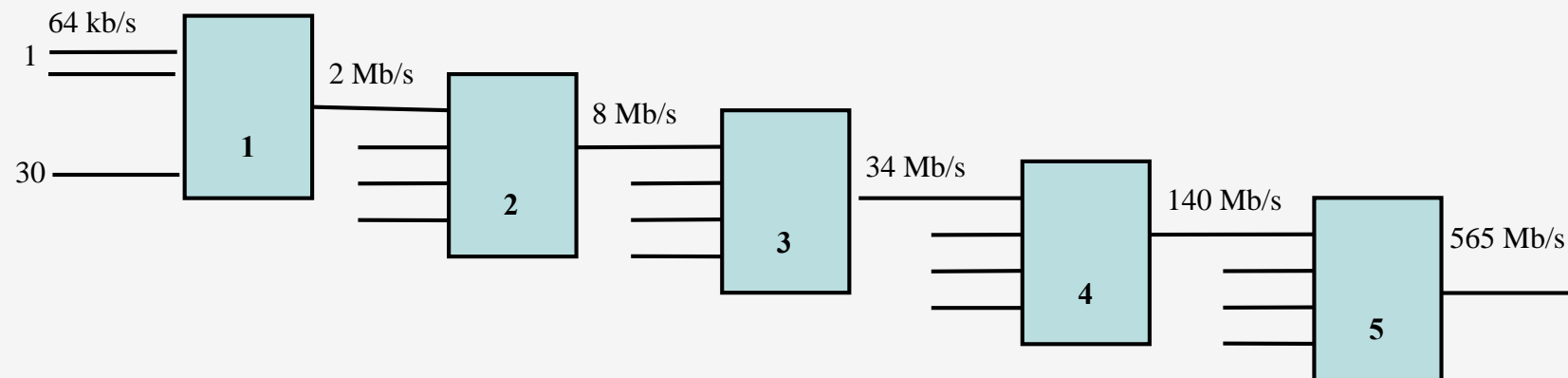
Reste le problème de la signalisation

Multiplexage : suite

Pour que les commutateurs puissent échanger des informations de service, l'IT 16 a été affecté au transport de signalisation



Hiérarchie PDH Européenne



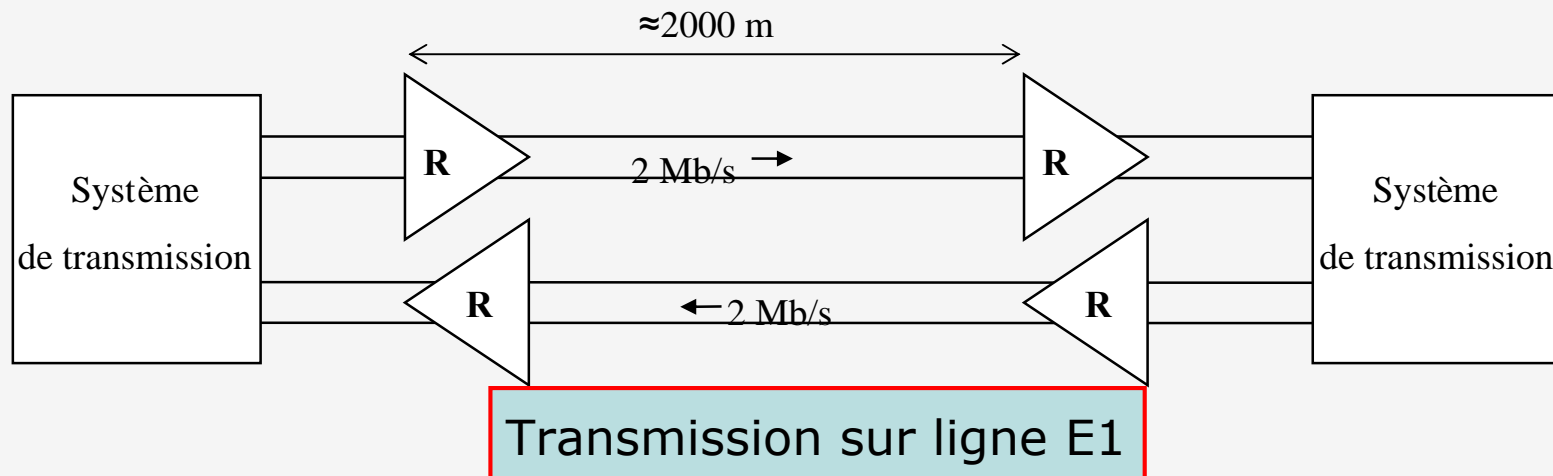
Détail de la hiérarchie PDH Européenne

Ordre du multiplex	ligne	Flux entrant	surdébit introduit IT kb/s	surdébit total IT kb/s	débit utile IT kb/s	débit total IT kb/s
TN1	E1	30 1920	2 128	2 128	30 1920	32 2048
TN2	E2	128 IT 8192 kb/s	4 256	12 768	120 7680	132 8448
TN3	E3	528 33792	9 576	57 3648	480 30720	537 34368
TN4	E4	2148 137472	28 1792	256 16384	1920 122880	2176 139264
TN5	E5	8704 557056	124 7936	1148 73472	7680 491520	8828 564992

Transmission

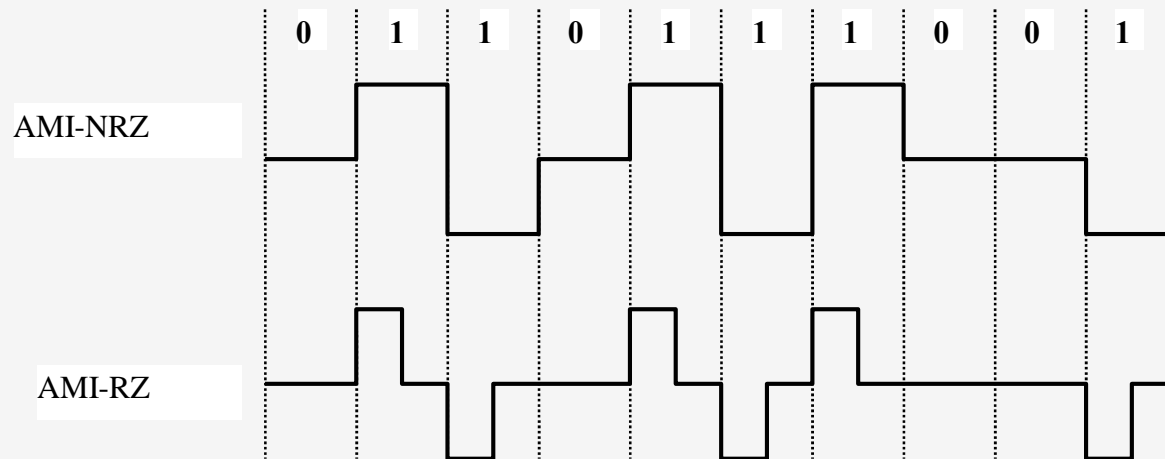
- Câble Coaxial (bande de base)
- Fibre optique (bande de base)
- Liaison hertzienne (Modulation d'une porteuse)

Quelque soit le système de transmission, on a besoin de répéteurs

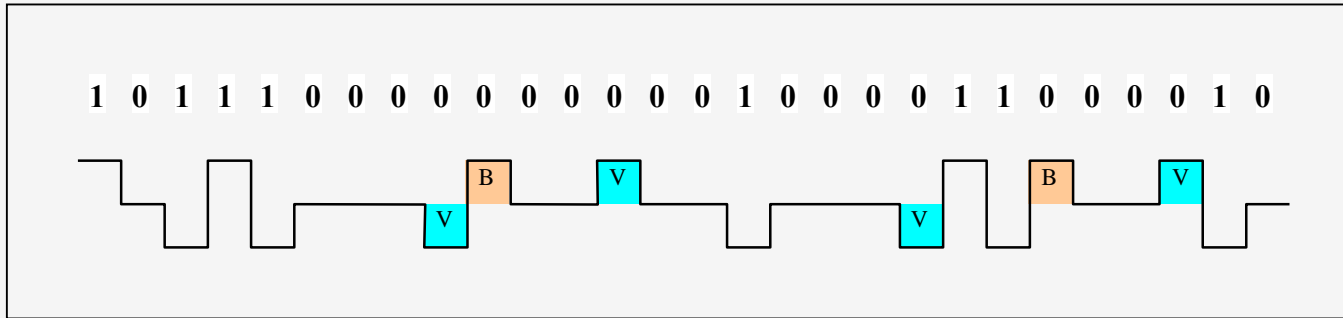


Codage de ligne

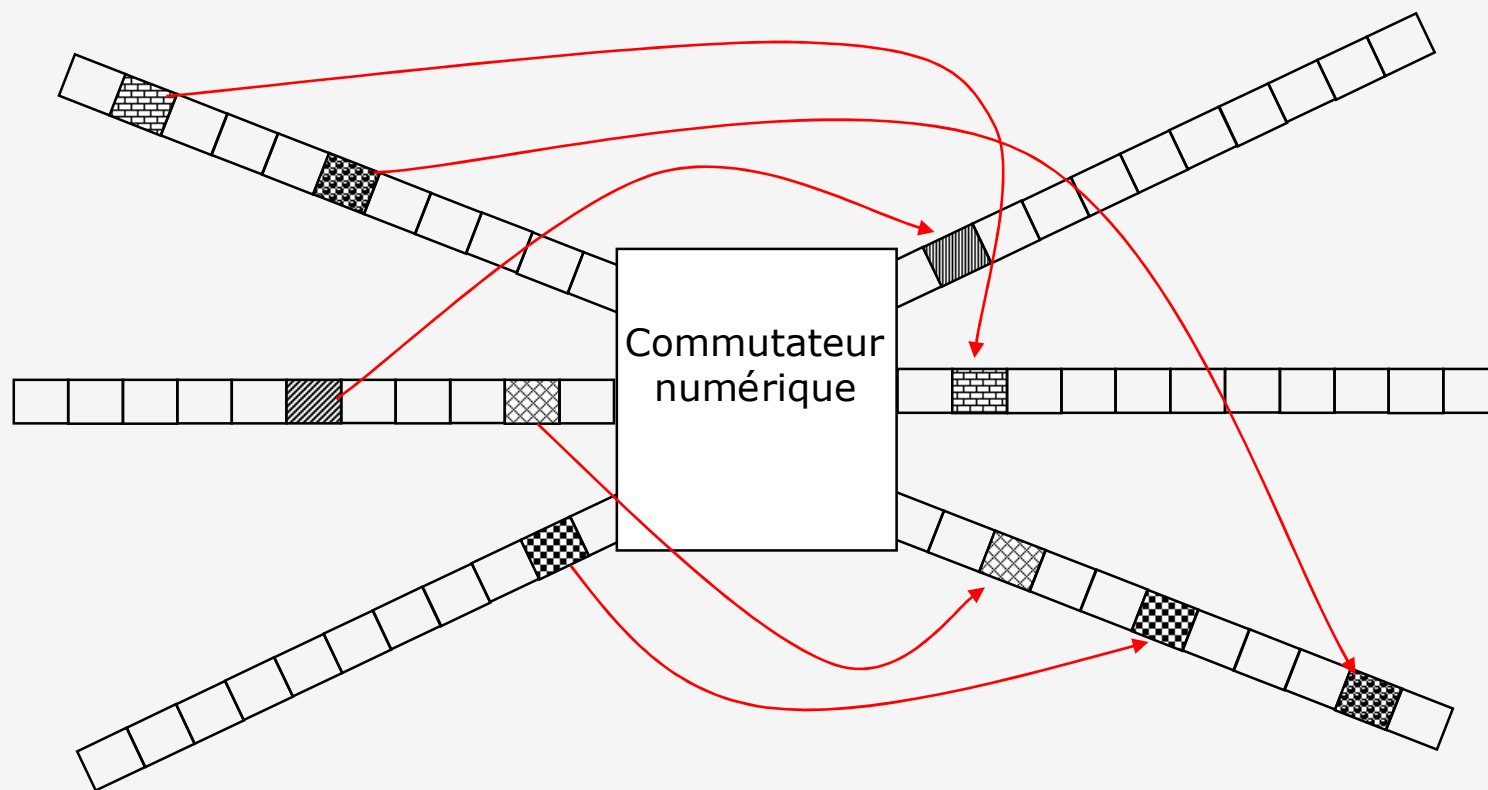
Pour pouvoir traverser les systèmes de transmission qui comporte des transformateurs et des condensateurs, le signal ne doit pas comporter de composante continue. On utilise des codes bipolaires



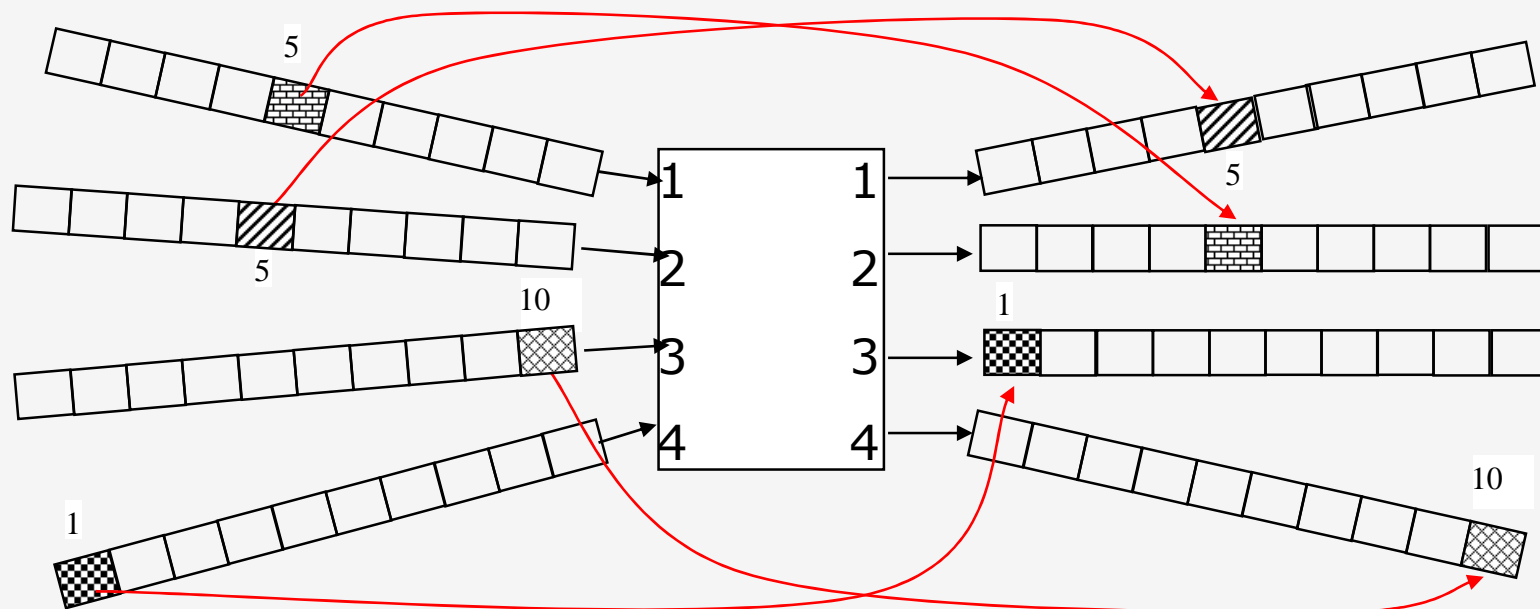
HDB3



La commutation numérique



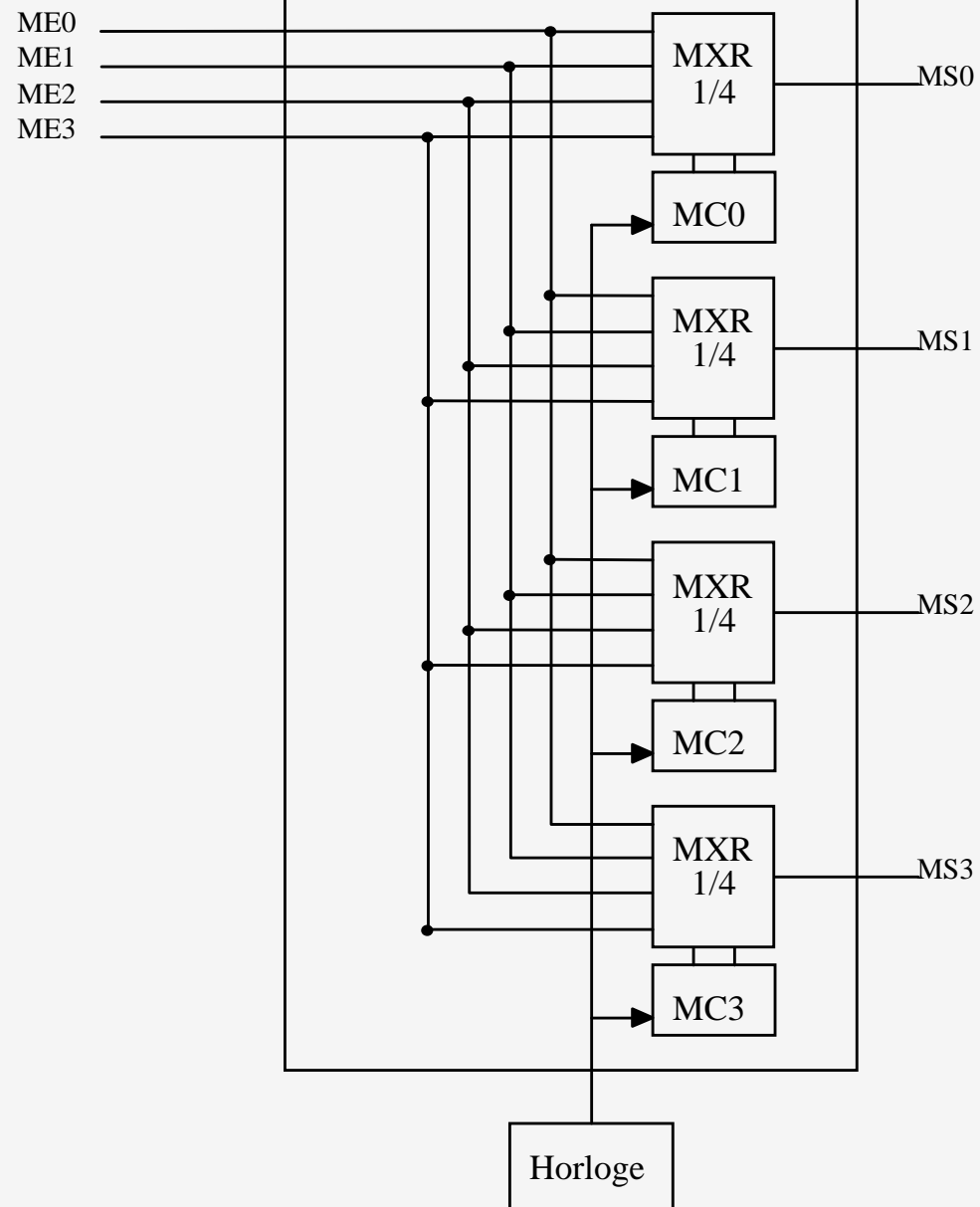
Commutateur numérique de type S



Un échantillon peut changer de direction mais il conserve son rang dans la trame

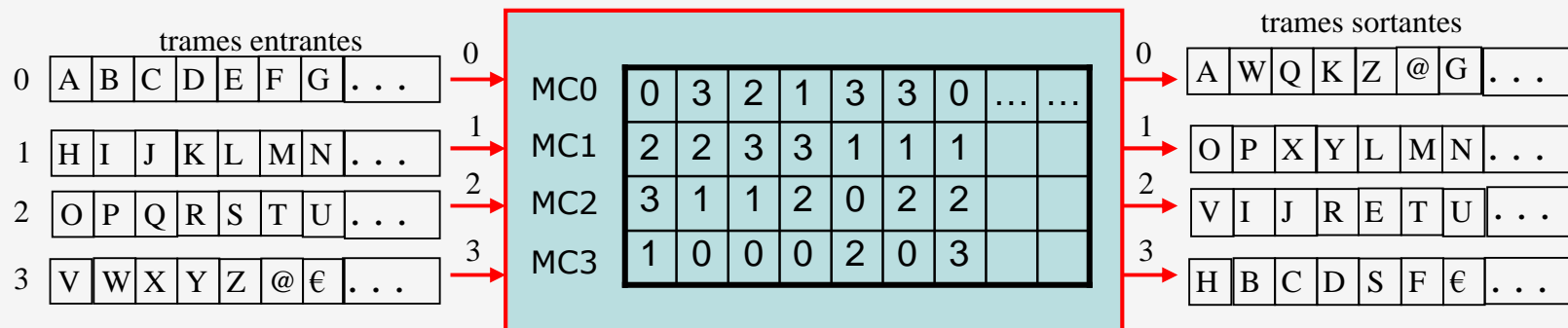
Ce commutateur fonctionne comme un commutateur analogique sauf que les connexions changent à chaque intervalle de temps

Commutateur S 4x4



Commande d'un commutateur S

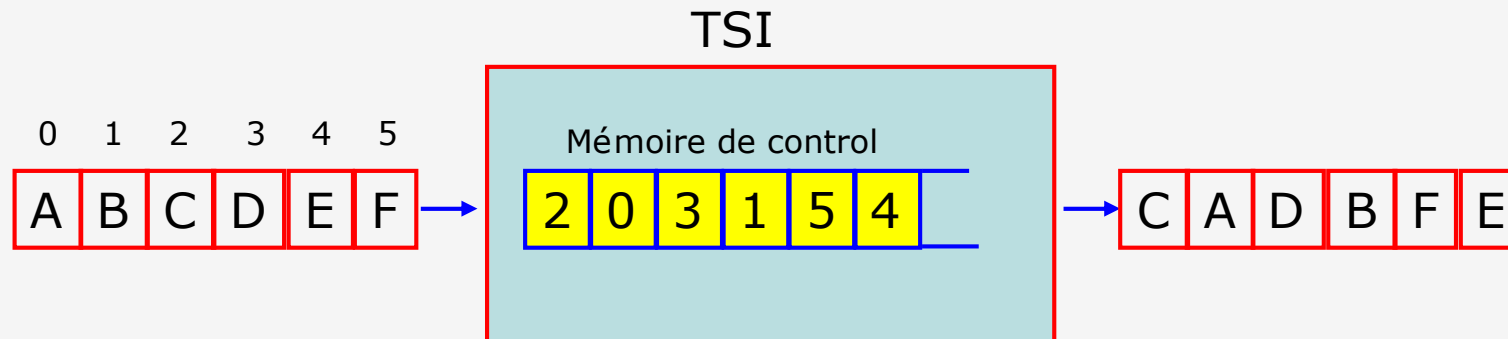
- Le commutateur est commandé par la sortie
- 4 mémoires de control MC0, MC1, MC2 et MC3
- Chaque mémoire correspond à un multiplex de sortie
- Elle permet de déterminer ce qui va sortir sur ce multiplex en précisant pour chaque intervalle de temps, l'entrée vers laquelle il faut se connecter



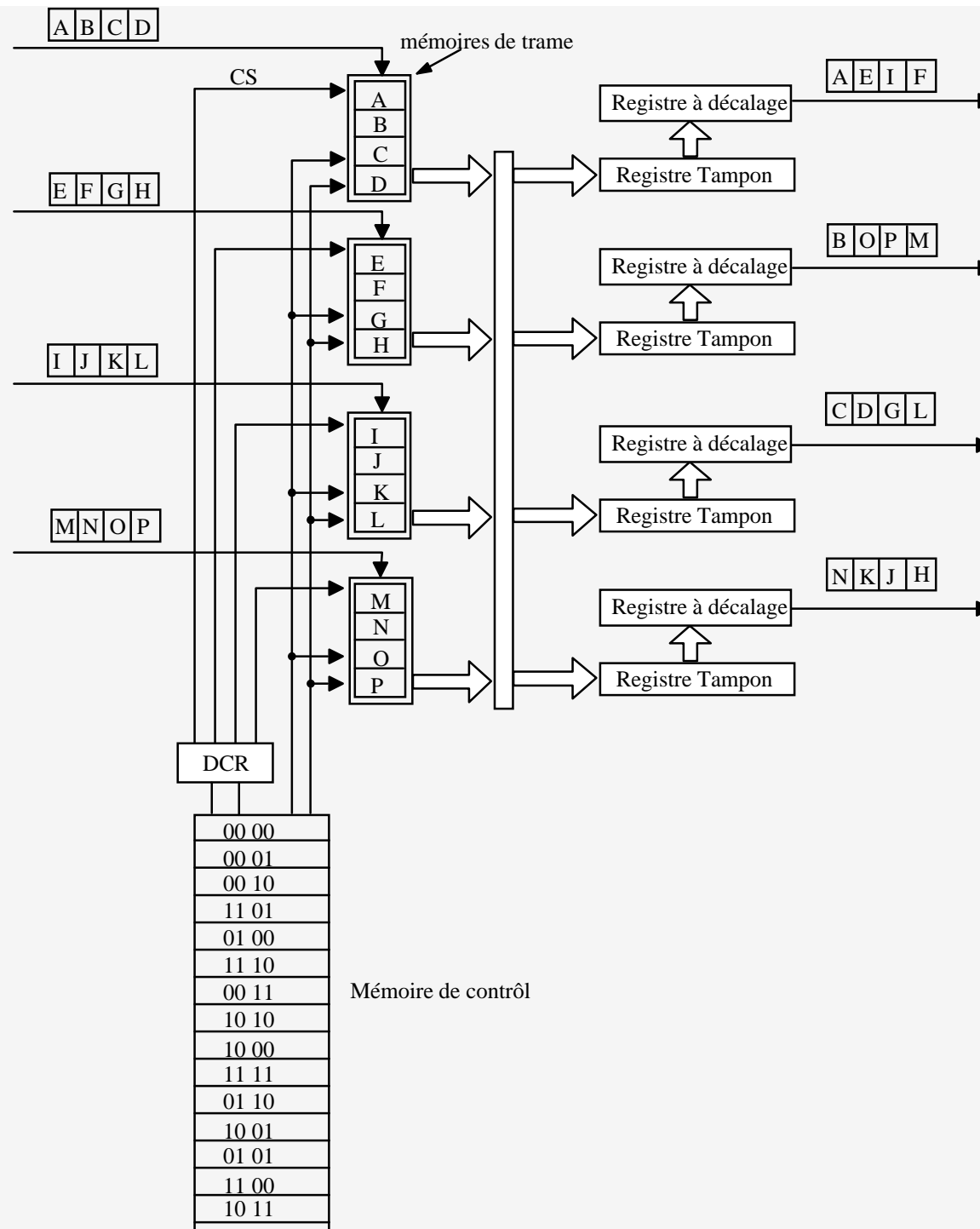
Le commutateur S présente un blocage interne quand pendant le même IT, 2 échantillons de 2 affluents différents veulent sortir dans la même direction. (Ex: A et H veulent sortir sur le multiplex 3)

Commutateur T

Un commutateur T ou TSI (*Time Slot Interchange*) est un commutateur qui a la possibilité de changer la position des échantillons sur la trame.



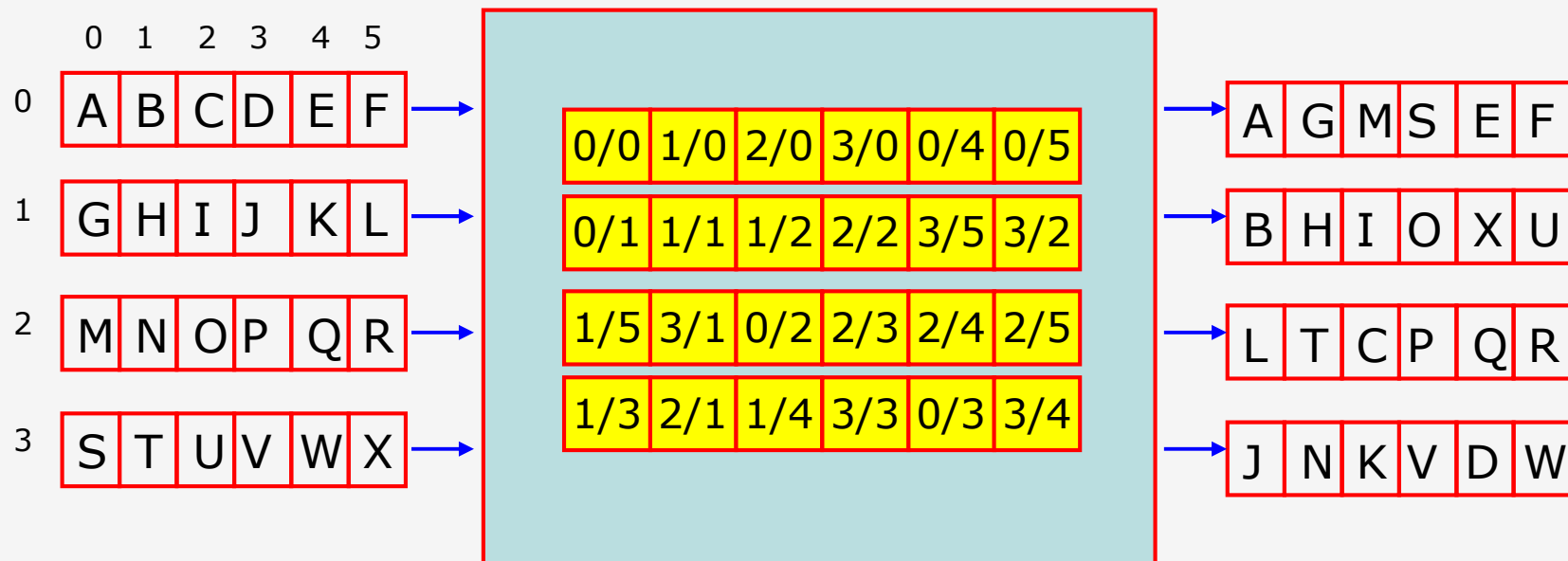
Le commutateur T dispose d'une mémoire tampon dans laquelle il fait attendre les échantillons avant de les placer dans le multiplex de sortie conformément aux informations issues de la mémoire de control



Commutateur étendu S/T

Ce commutateur combine des multiplexeurs et des mémoires tampon afin de réaliser la commutation **S**patiale et **T**emporelle

Le commutateur est commandé par la sortie : à chaque slot des multiplexes de sortie correspond une case mémoire qui précise l'adresse (Mx/IT) d'où doit venir l'échantillon correspondant



Réseau TST

