

**Principe et stratégies de numérisation**

**Comparaison de réseaux analogiques et numériques**

Mr. H. Leijon, ITU



**UNION INTERNATIONALE DES TELECOMMUNICATIONS  
INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION  
UNION INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES**





## **PRINCIPE ET STRATEGIES DE NUMERISATION. COMPARAISON DE RESEAUX ANALOGIQUE ET NUMERIQUE**

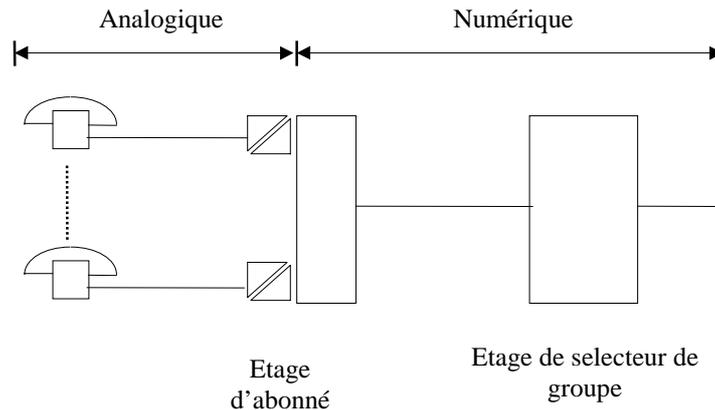
### Sommaire

1. INTRODUCTION
2. PRINCIPES DE NUMERISATION
  - 2.1 Généralités
  - 2.2 Numérotation de réseaux de ligne d'abonné
  - 2.3 Numérotation de réseaux de jonction
  - 2.4 Numérotation du réseaux interurbain
3. STRATEGIES DE NUMERISATION
  - 3.1 Généralités
  - 3.2 Stratégie de recouvrir ("Overlay")
  - 3.3 Stratégie de l'île
  - 3.4 Stratégie pragmatique
  - 3.5 Exemples d'une numérisation en étapes, pragmatique
4. COMPARAISON DE RESEAUX ANALOGUES ET NUMERIQUE
5. TENDANCE NOUVEAU DE DEVELOPPEMENT

## 1. INTRODUCTION

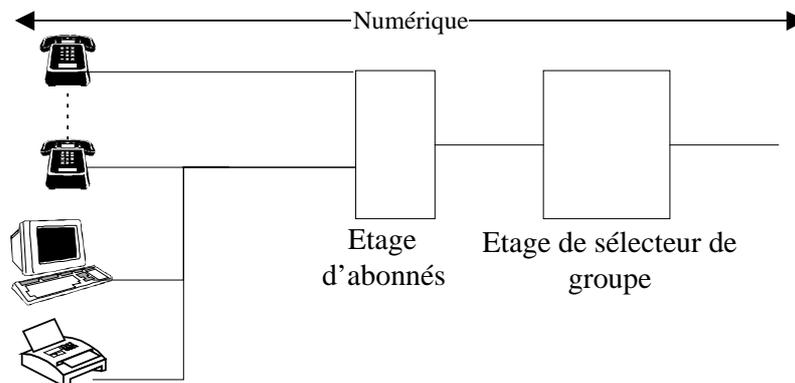
La numérisation d'un réseau de télécommunication est d'introduire les composants numérique de transmission et de commutation dans le réseau. Les raisons sont principalement économiques, mais il y a aussi d'autres raisons, telles que l'amélioration et l'extension des services aux abonnés, l'amélioration de la qualité de transmission, l'amélioration des facilités d'exploitation et de maintenance, etc.

La meilleure économie et performance est réalisée si la transmission et la commutation sont toutes les deux numériques et intégrées (pas de convertisseur A/D nécessaires). Cependant, puisque les postes téléphoniques existants sont analogiques et le coût de les remplacer par des postes numériques sont importants, les lignes d'abonnés vont être gardées analogiques alors que le reste du réseau est numérisé. Cela nous mène au réseau numérique intégré IDN, qui est le premier but du processus de numérisation (voir Figure 1).



**Figure 1: Premier but IDN**

La numérisation finale des lignes d'abonnés révèle les futures possibilités de connecter une grande variété d'équipements numériques d'abonnés tels que les terminaux de données, le téléfax, le télex, etc. Nous avons alors un réseau numérique de service intégrés ISDN, où les services de téléphones, les services de données, etc. sont commutés par un réseau de communications intégré (voir Figure 2).



**Figure 2: But ultime l'ISDN**

Puisque le réseau de téléphone analogique existant est le plus important des différents types existants aujourd'hui (téléphone, télex, données, etc.), le développement IDN/ISDN va commencer par ce réseau. L'étude suivante, de principes de numérisation et de stratégie, est alors basée sur ce fait. L'étude avance vers la transition en IDN, car la transition additionnelles en ISDN reste encore à discuter et à formaliser dans certains respects. L'étude se termine par une comparaison entre les caractéristiques du réseaux de téléphone analogique et un réseau numérique.

## 2. PRINCIPES DE NUMERISATION

### 2.1 GENERALITES

Un réseau de téléphone analogique typique est montré à la Figure 3. Nous allons étudier la numérisation de différentes parties de ce réseau.

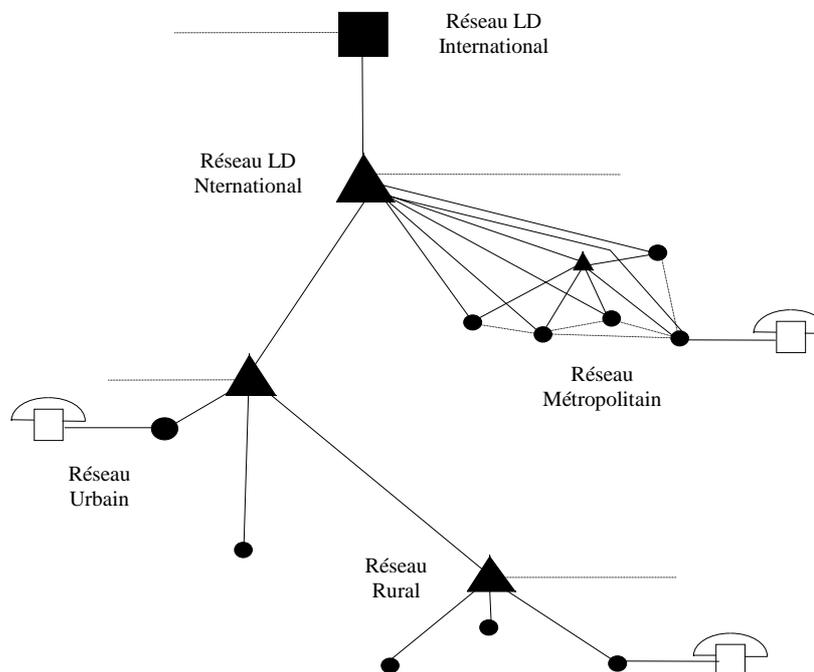


Figure 3: Structure du réseau analogique

### 2.2 NUMERISATION DE RESEAUX DE LIGNES D'ABONNES

Les réseaux des lignes d'abonnés et les centraux locaux forment les parties des réseaux métropolitains, des réseaux urbains et des réseaux ruraux. Les principes de numérisation sont beaucoup les mêmes dans tous les cas, étudions alors la numérisation des réseaux de lignes d'abonnés et un centre local dans une zone urbaine, (voir Figure 4). Deux mille (2,000) abonnés sont connectés au commutateur d'abonnés (SS) Le commutateur de groupe (GS) à deux files a des routes vers 10 autres centre, chaque route avec 30 lignes de jonction à deux files. SS et GS sont connectés avec 300 connexions à deux files.

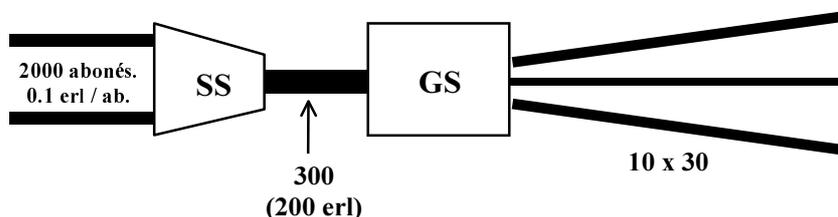


Figure 4: Centre local

La Figure 5 montre que les 2,000 abonnés sont connectés avec un câble primaire à 2,000 paires à partir du centre vers un cabinet de distribution de câble (simplifié en un cabinet seulement) à partir duquel 10 câbles secondaires avec 200 paires chacun, mènent plus loin vers les abonnés.

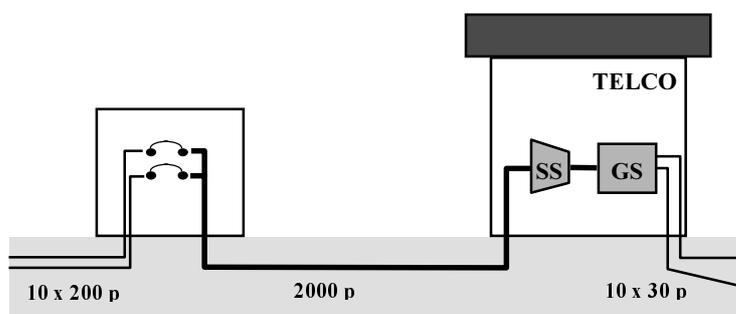


Figure 5: Connexion d'abonnés

Une réduction dramatique en câble primaire est réalisée par l'introduction du PCM et un commutateur d'abonné lointain, (voir Figure 6). 20 paires pour 10 systèmes PCM à 30 voix (2 paires pour chaque système, 1 paire par direction de transmission) donnent approximativement 300 canaux de parole entre le SS et le GS éloignés, ce qui est à présent plus qu'assez pour les 200 erlangs de trafic offerts. Le nombre de paires est réduit de 2,000 à 20, ce qui est un facteur de 100.

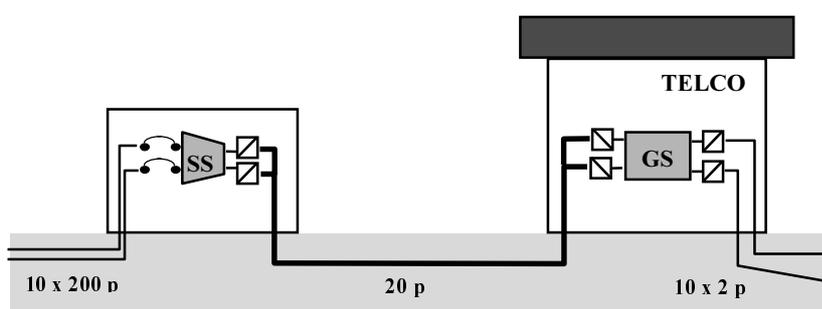


Figure 6: Introduction de la transmission numérique

Dans la Figure 6, nous avons aussi introduit un système PCM de 30 canaux, sur chaque route de jonction, résultant en une réduction de câble de jonction de 30 paires à 2 paires par route, avec un facteur de 15. Le facteur de gain de paires est inférieur par rapport à celui des câbles primaire car une paire de jonction (porte plus de trafic, originalement, qu'une paire d'abonnés (0.7-0.8 erlang comparé à 0.05-0.15 erlang). Dans la section 2.3 nous verrons plus à propos la numérisation du réseaux de jonction.

Comme ça se voit le gain de paires par l'introduction du PCM est important. Il est bien sûr, compensé, à un certain degré, par le coût de l'équipement du PCM.

Comme c'est vu à la Figure 7, par l'introduction de commutateurs numériques, seuls les convertisseurs A/D sont nécessaires sur les lignes d'abonnés qui sont encore analogiques puisque les postes téléphoniques sont analogiques. Nous avons la structure caractéristique d'un réseau numérique intégré, IDN.

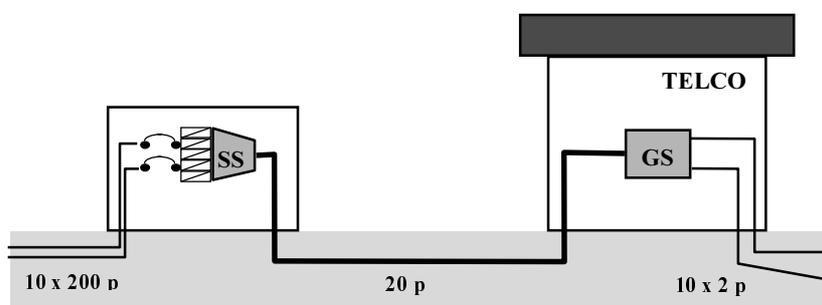


Figure 7: Introduction de la commutation numérique

### 2.3 NUMERISATION DE RESEAUX DE JONCTION

Les ligne de jonction sont des connexions entre les centres locaux et les connexions entre un centre local et un centre tandem ou de transit.

Considérez une route de jonction à deux centres locaux (voir Figure 8). La route consiste de 300 jonction ou 300 paires. Le coût de la jonction dépend de la distance, comme c'est montré, et il est la somme du coût fixe du groupe commutateur et un coût variable de câble dépendant de la distance.

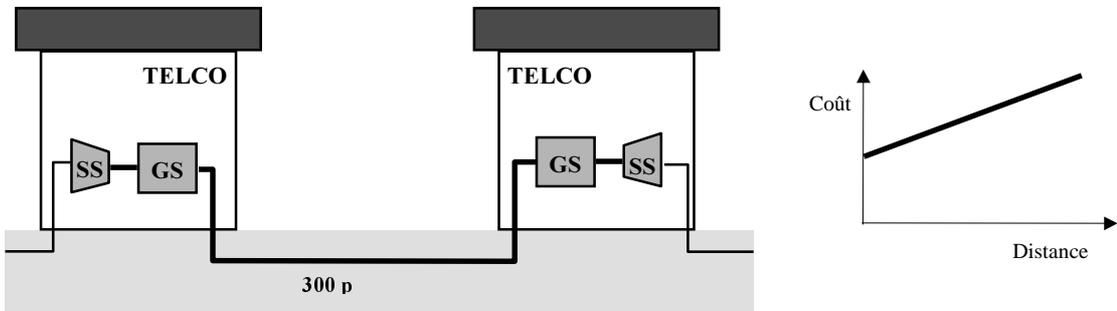


Figure 8: Route de Jonction

Dans la Figure 9, nous avons introduit le PCM sur la route. 10 systèmes PCM de 30 canaux donnent encore 300 connexions, mais seulement 20 paires. Les coûts des terminaux PCM vont augmenter le coût fixe alors que le coût du câble est réduit, et la route est économique au delà d'une certaine distance.

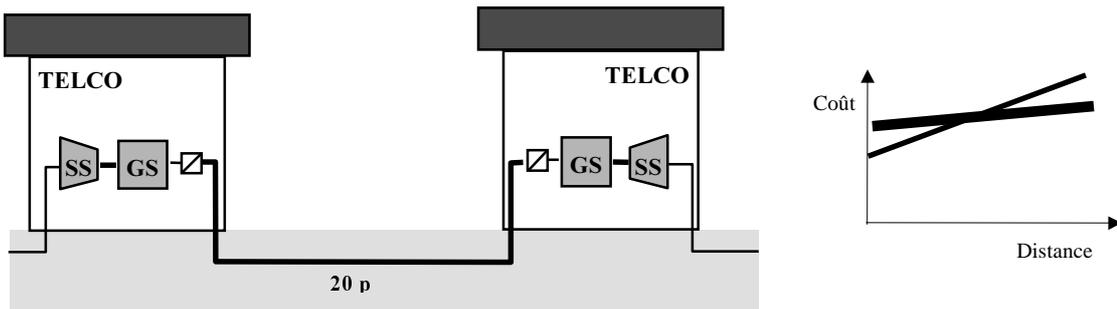


Figure 9: PCM sur la route

Comme le cas du réseau de lignes d'abonnés, la meilleure économie est acquise quand les centres sont numériques et les terminaux de PCM intégrés dans le centre (voir Figure 10). La méthode est effective, quand au coût, à partir de 0 km.

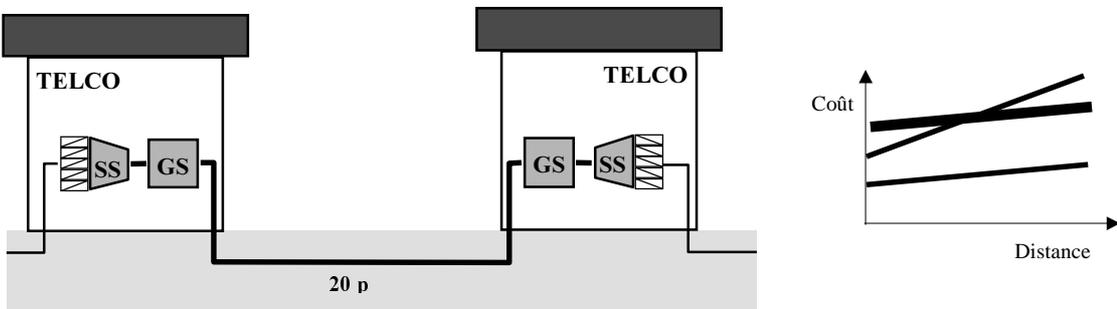


Figure 10: PCM sur la route et centraux numériques

## 2.4 NUMERISATION DE RESEAUX INTERURBAIN

Les circuits interurbain sont des connexions entre les centres de transit dans les réseaux à longue distance. Ces connexions sont aujourd'hui établies par des systèmes FDM, très efficaces, et les économies seraient mineures par l'introduction des systèmes numériques de transmission. Cependant, l'économie en transmission numériques de longue distance est en amélioration rapide, surtout en systèmes à fibres optique.

Pendant que nous gardons la transmission analogique aux réseau de longue distance, les centres de transit numériques peuvent pourtant être introduits avec une bonne économie, particulièrement si les centres locaux coopérant et/ou les lignes de jonction sont numériques.

## 3. STRATEGIES DE NUMERISATION

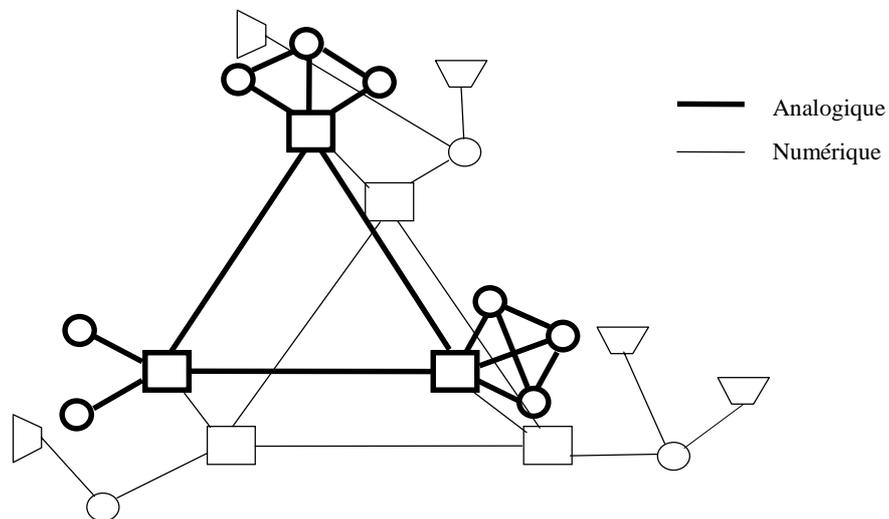
### 3.1 GENERALITES

Malgré qu'il est démontré que la numérisation est économique, il n'est pas possible de numériser tous les réseaux en une étape, car les investissements initiales et les ressources nécessaires seraient énormes. La numérisation devra être un processus évolutif sur une période de 20 à 40 ans dans la plupart des pays. Il est, alors, important que chaque administration fasse sa propre stratégie de numérisation quant à où, quand et comment les différentes étapes de numérisations doivent être entreprises.

Il y a trois différentes stratégies:

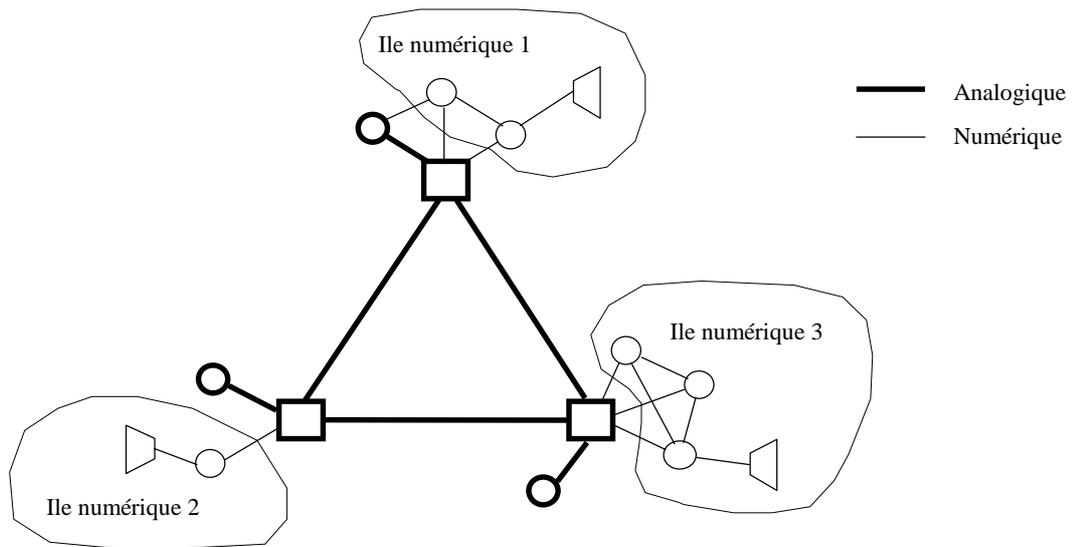
- La stratégie Overlay (superposée),
- La stratégie Island (d'île),
- La stratégie pragmatique.

La stratégie Overlay est de créer un réseau numérique assez léger sur une zone géographique vaste, couvrant le réseau analogique existant (voir Figure 11).



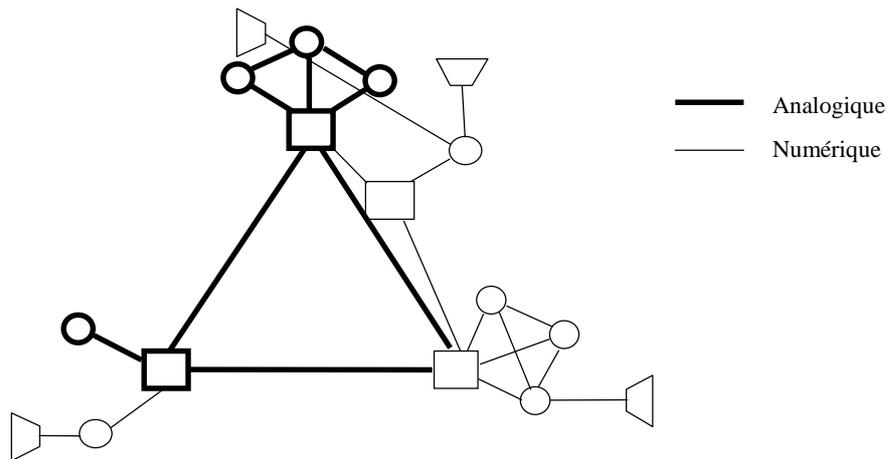
**Figure 11: Stratégie Overlay**

La stratégie d'Island est de commencer la numérisation par fournir des capacités numériques complètes à l'intérieur de certaines zones géographiques limitées, appelées îles numériques (Island), (voir Figure 12).



**Figure 12: Stratégie de l'île (Island)**

La stratégie Overlay et la stratégie de l'île sont les deux stratégies principales. La stratégie pragmatique est un compromis pratique entre les deux (voir Figure 13).



**Figure13: Stratégie Pragmatique**

Quelques instructions à l'égard du choix de stratégie se trouvent dans la brève description suivante des différentes stratégies.

### 3.2 STRATEGIE OVERLAY

Les caractéristiques de cette stratégie sont:

1. Approvisionnement rapide des services numériques sur une base répandue partout dans le pays.
2. Les coûts initiaux d'investissement élevés, par rapport à la capacité initiale de base qui est fournie. Cela est parce que certaines installations numériques de commutation et de transmission de longue distance sont initialement nécessaires.
3. Personnel additionnel d'exploitation et de maintenance et équipement supplémentaire partout dans le pays, ce qui signifie des coûts d'exploitation et de maintenance augmentés.
4. Le routage alternatif limité au stade initial, à cause du réseau faible (non développé).
5. Différents traitement et services fournis aux abonnés avec accès au réseau Overlay, en comparaison avec d'autres abonnés dans la même zone géographique.

L'approvisionnement prématuré des services numériques de bout en bout, fait de la stratégie overlay la plus convenable dans les pays où la demande de services téléphoniques nouveaux et rehaussés est grande et urgente et où le réseau analogique existant a une durée de vie relativement longue. La stratégie Overlay est aussi applicable pour créer un réseau séparé, consacré aux services non -vocaux dans les pays où un tel réseau n'existe pas aujourd'hui mais où la demande est forte.

La stratégie Overly peut aussi être dictée par la politique d'une administration pour répondre à la croissance des abonnés et du trafic par la numérisation. Cela peut, pour l'instant, être accompli par la connexion de nouveaux abonnés à des commutateurs lointains de quelques nouveaux centres numériques plutôt que d'étendre les centres analogiques existants. Les centres numériques peuvent alors être interconnectés en un réseau Overlay répandu à travers la pays.

Des services nouveaux et améliorés impliquent des revenus nouveaux qui doivent être changés en troc contre les coûts d'investissement initiaux élevés et les coûts d'exploitation et de maintenance dans tout le pays qui pénalisent la stratégie Overlay . Les possibilités limitées de routage alternatif au stade initial doivent aussi être considérées et les toutes doivent être bien planifiées en conséquence. Finalement, les différents traitements et services fournis aux abonnés avec accès au réseau "Overlay", comparés avec d'autres abonnés dans la même zone géographique, peu causer les mêmes problèmes pour une administration, cette dernière doit être attentive avant de décider d'adapter la stratégie Overlay.

La demande des nouveaux et rehaussés services téléphoniques et/ou de services améliorés non vocaux vient du secteur d'affaires d'une façon considérable, ce secteur qui contribue à la partie majeure du revenu d'une administration. Les activités d'affaire sont principalement concentrées dans les zones métropolitaines et urbaines. En combinaison avec le fait que les économies de la numérisation sont les meilleurs au réseau d'abonnés et de jonction, le commencement du processus de numérisation devient très attirant dans des zones pareilles. De même, si la même stratégie est faite par la politique d'une administration pour répondre à la croissance par numérisation, les zones urbaines et métropolitaines paraissent être les points de commencement les plus convenables, car ces zones ont généralement les taux de croissance les plus élevés.

### 3.3 STRATEGIE DE L'ILE ( ISLAND)

Les caractéristiques de la stratégie île sont:

1. L'approvisionnement de services numériques complets à l'intérieur de certaines zones géographiques limitées par le remplacement des équipements de transmission et de commutation analogiques existant. Le service répandu partout dans le pays n'est pas nécessairement un but immédiat.
2. Avantage total de transmission et de commutation numériques intégrées pour la zone " île" dès le départ. L'équipement numériques peut être concentré aux zones où il est demandé le plus et peut être utilisé le plus efficacement. La disponibilité de la commutation numérique de longue distance et des capacités des transmissions ne sont pas initialement nécessaires. Il est alors passible de s'attendre à la réalisation d'économie dans les installations numériques de long trajet.
3. Le personnel additionnel d'exploitation et de maintenance ainsi que l'équipement supplémentaire, sont seulement nécessaires pour l'île numérique et non pas pour tout le pays.
4. Les possibilités de routage alternatif ne sont pas touchées, ni à l'intérieur de l'île numérique ni entre les îles numériques.
5. Même traitement et services fournis aux abonnés à l'intérieur de l'île numérique.

La stratégie île est mieux adapté aux pays où la croissance est localisée aux zones où il y a un nombre relativement grand de vieux centres qui sont à la fin de leur vie économique, qui ont atteint leur capacité commutation maximale ou ne peuvent pas être extensibles que si les bâtiments sont étendus. Ces centres sont remplacés par des centres à capacité de commutation plus grande et /ou à taille plus petite. Les vieux centres démontés qui sont en bonne condition, relativement, peuvent être rénovés et réutilisés dans d'autres lieux où ils peuvent fonctionner encore pendant plusieurs années. Les autres qui sont pratiquement usés et chers à entretenir à un niveau acceptable, sont mis au rebut.

Un "candidat" pour une île numérique est aussi souvent caractérisé par la présence déjà de transmission numérique relativement importante. En introduisant la commutation numérique, l'économie numérique de transmission intégrées est réalisée à l'intérieur de l'île numérique.

La stratégie d'île peut être avantageuse aussi quand de grandes distances géographiques séparent les zones de croissance et le coût actuel de l'interconnexion numérique de longue distance est élevé.

Les zones urbaines et métropolitaines paraissent être les meilleurs points de départ pour la stratégie d'île, car ces zones ont normalement le taux de croissance le plus élevé. Aussi, ces zones ont souvent le pourcentage le plus élevé de transmission numérique existante.

### 3.4 STRATEGIE PRAGMATIQUE

Comme c'est vu à partir du texte précédent, la stratégie de numérisation à adopter va varier d'un pays à l'autre dépendant de la demande du réseau actuel, de la politique de l'administration, de la forme géographique du pays, etc. Cependant, à la fin, il y a l'économie d'échange contre les services fournis, qui dictent la stratégie. La plupart des cas, ni la stratégie purement Overlay ni la stratégie purement île montre un échange satisfaisant. Plutôt, un compromis devra être utilisé, la stratégie pragmatique.

Une stratégie pragmatique vise un bon commerce de l'économie en fonction des services par:

1. L'optimisation de l'utilisation d'équipement existant.
2. Optimiser efficacement les nouveaux investissements.

La stratégie pragmatique implique que puisqu'un réseau évolue vers son but de configuration cible et nature, quelques unes de ses parties peuvent devenir modernisées (numérisées) par des applications Overlay, et les autres parties modernisées par des îles numériques. Au point que les éléments fixés peuvent jouer un rôle significatif dans l'évolution vers IDN et ISDN, ils sont retenus (parfois modernisés).

Une caractéristique dominante de contrôle des stratégies pragmatiques est une tendance pour suivre les forces motrices naturelles pour l'évolution de réseau telle que la croissance en demande, le désir de fournir une capacité pour des nouveaux services, et le besoin de moderniser l'installation de télécommunications, le tout, favorablement alourdit à travers les économies globales. Cela signifie qu'il y a au moins autant de stratégies pragmatiques distinctes que de pays qui sont "candidats" pour l'évolution IDN/ISDN.

En général, les stratégies pragmatiques proposent une analyse technique et économique plus détaillée de nombreuses combinaisons et stratégies île et/ou Overlay telles qu'elles sont appliquées à tous les segments du réseau pour réaliser une meilleure solution. Des méthodes informatisées variées de prévision et des méthodes de l'optimisation de la planification du réseau ont été développées pour ces buts.

### 3.5 EXEMPLES D'UNE NUMERISATION PRAGMATIQUES PAS A PAS

#### 3.5.1 *Induction de centres numériques tandems et locaux*

Supposons que nous avons décidés de commencer la numérisation dans une zone métropolitaine par l'introduction d'un tandem numérique (voir Figure 14). Dans ce cas toutes les routes existantes sont analogiques au départ. Dans les autres cas quelques unes peuvent être numériques déjà.

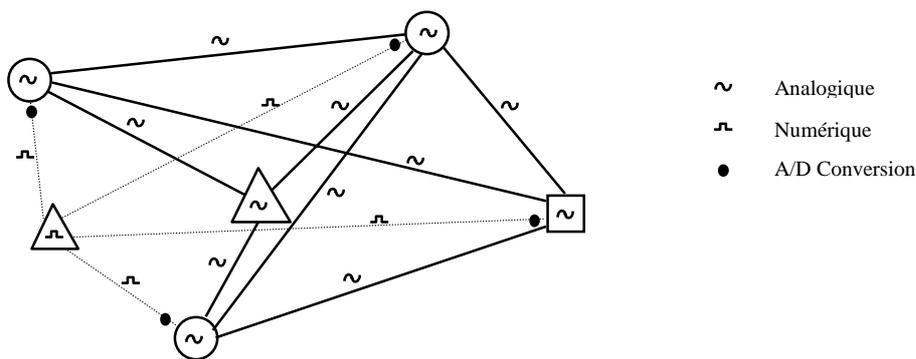


Figure 14: Introduction du tandem numérique

Dans la Figure 15, le tandem analogique a été supprimé graduellement, mais cela n'est pas toujours nécessaire.

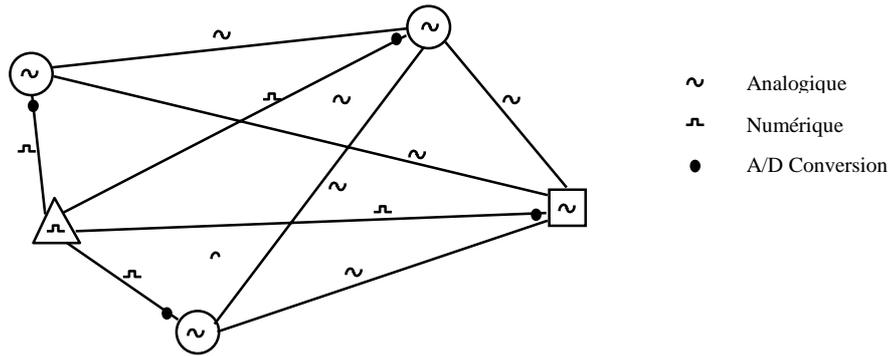


Figure 15: Tandem Analogique supprimé graduellement

Le réseau pouvait être élargi par de nouveaux centres locaux qui sont connectés au tandem et aux centres locaux existant s'ils sont économiques (voir Figure 16).

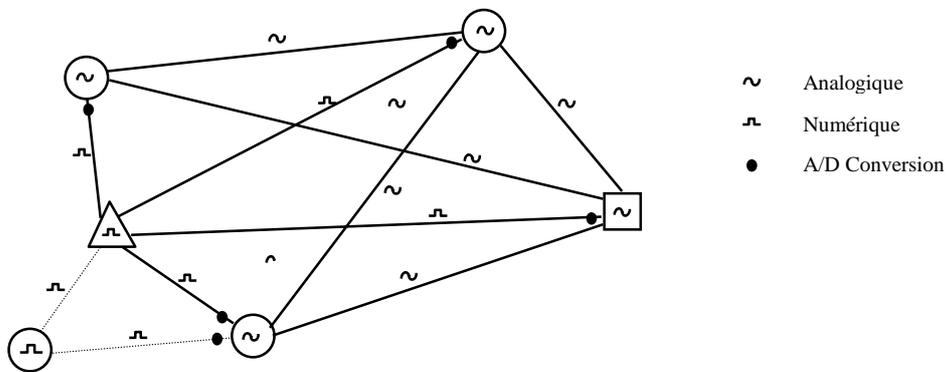


Figure 16: Extension avec le nouveau centre local

Etudions une route directe entre deux centres locaux et voyons si le PCM est intéressant (voir Figure 17). Si les systèmes PCM sur les routes des deux centres jusqu'au centre tandem ont une capacité supplémentaire, cette capacité peut être utilisée pour une route directe entre les centres en passant par le tandem (voir Figure 18).

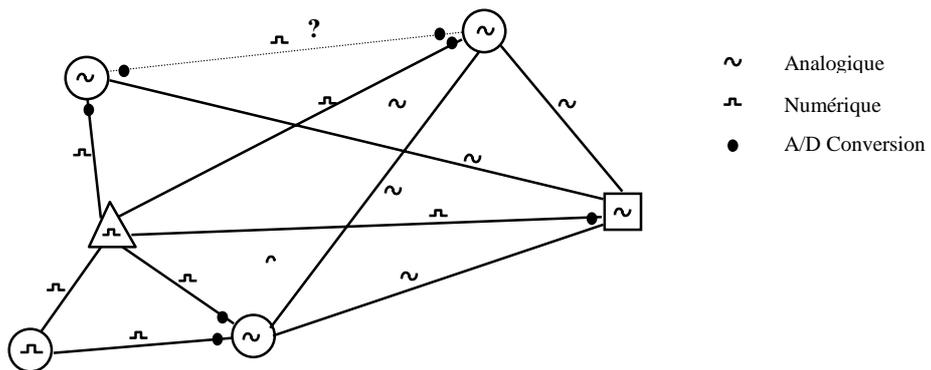


Figure 17: Le PCM est intéressant sur la route indiquée?

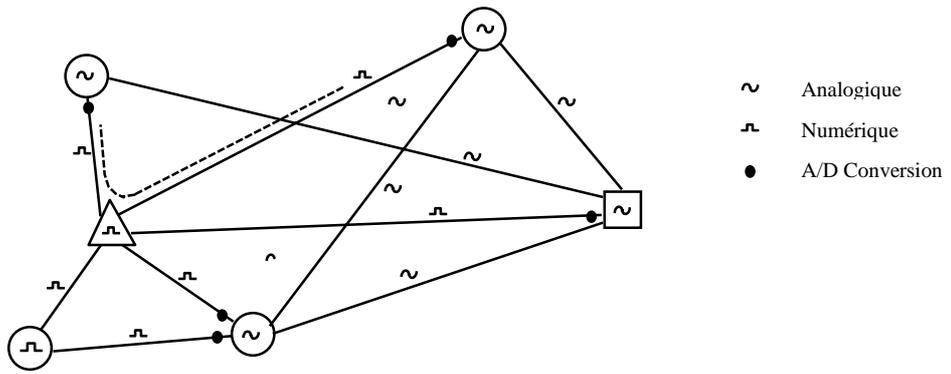


Figure 18: Route Direct en passant par le tandem

La Figure 19 nous montre un exemple de l'extension d'un centre analogique avec un commutateur d'abonnés lointain relié au centre numérique tandem. Une image plus détaillée de cette situation est donnée à la Figure 20. La croissance en un centre analogique est prise par un réseau numérique Overlay .

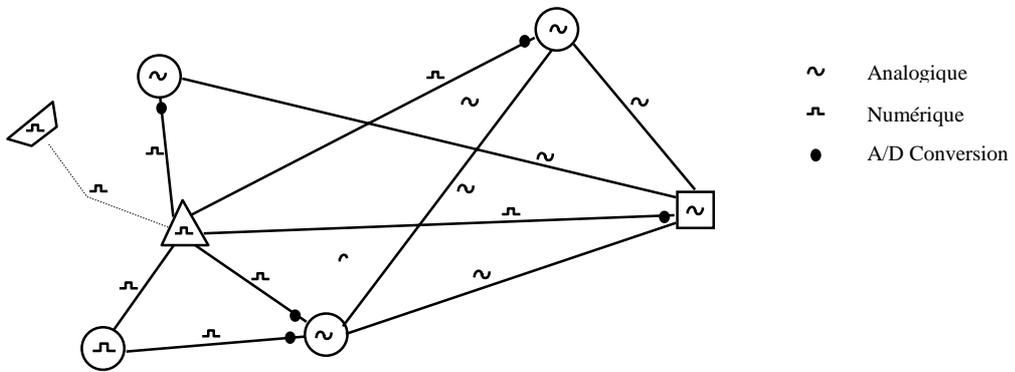


Figure 19: Extension d'un centre analogique avec un commutateur d'abonné lointain

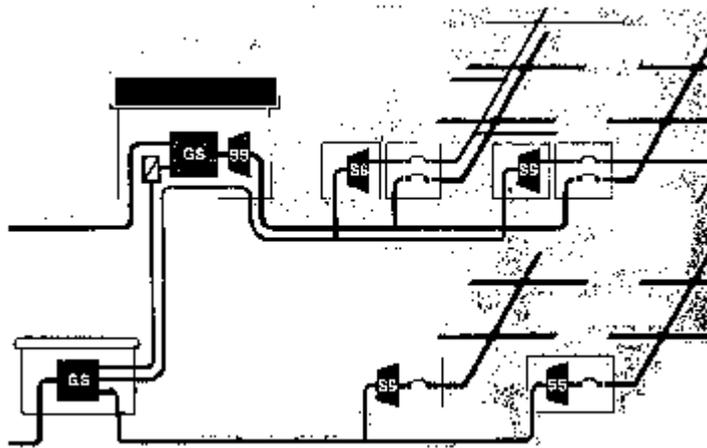
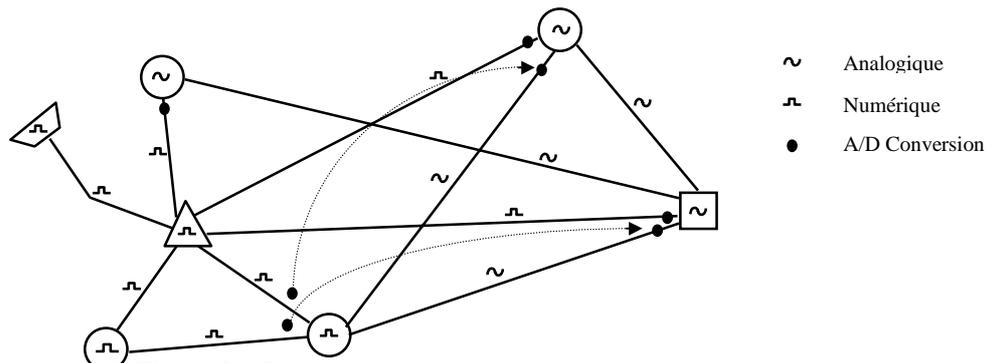


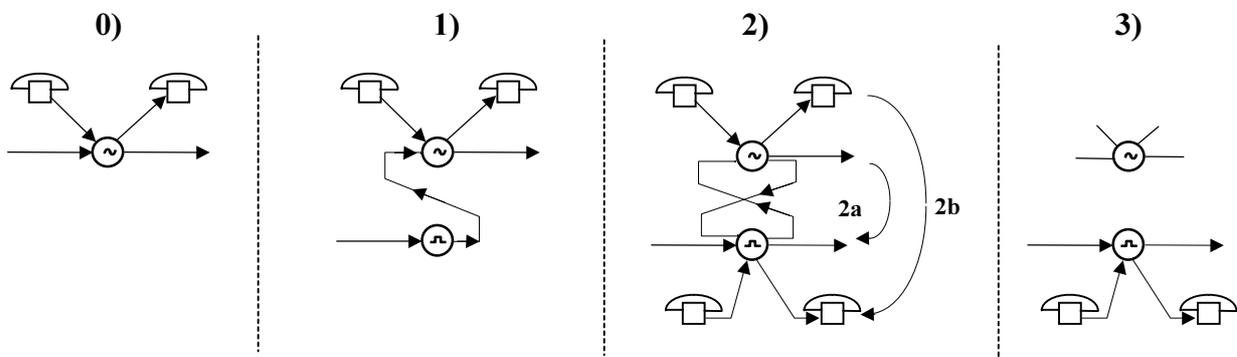
Figure 20: Réseau numérique Overlay

La Figure 21 nous montre le remplacement d'un centre local analogique par un centre local numérique. Les flèches indiquent la réutilisation des terminaux PCM.



**Figure 21: Remplacement d'un centre analogique.**  
(les flèches indiquent la réutilisation des terminaux PCM)

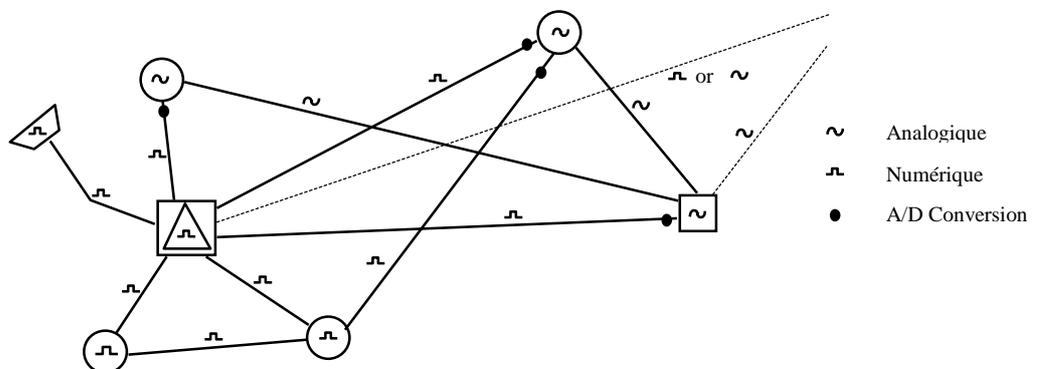
La Figure 22 montre avec plus de détails la procédure de remplacement d'un centre analogique par un centre numérique pendant que les deux centres sont en service.



**Figure 22: Remplacement d'un centre analogique par un autre numérique**

### 3.5.2 Introduction des fonctions transit au centre numérique tandem existant

La Figure 23 montre un exemple de cette introduction. Le coût d'extension du centre de transit analogique existant selon les augmentations du trafic de longues distances n'est pas dans ce cas justifiées en comparaison avec l'introduction des fonctions de transit au centre tandem existant, qui pouvait être facilement converti en un centre combiné tandem/transit.



**Figure 23: Introduction des fonctions de transit dans un centre tandem existant**

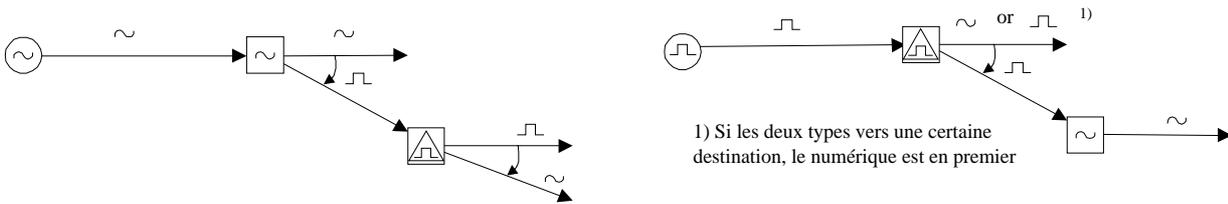
Les routes tandem précédentes sont étendues pour bien écouler les trafics de longues distances. La route de longue distance entre le centre transit analogique et l'un des centres locaux numériques est supprimée. Cela crée des

ports libres au centre transit analogique, ces ports qui peuvent être utilisés, à présent, pour l'extension nécessaire de la route vers le centre combiné tandem/transit.

Tous les nouveaux circuits, numériques ou analogiques, sont connectés au centre numérique tandem/transit, car la partie matériel (hardware) est moins chère, le travail le plus cher en matière de connexion avec les extensions des faisceaux de circuits connectés au centre analogique est évité.

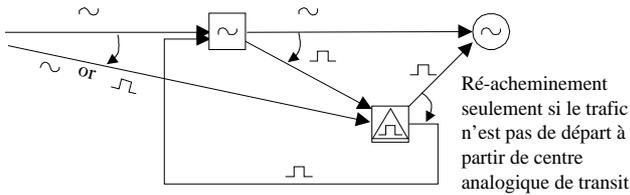
Le Figure 24 montre le routage de trafic de longue distance dans ce réseau mixte analogique/numérique. Le principe principal est de séparer le trafic analogique et numérique le plus que possible pour minimiser le nombre de conversions analogue/numériques. Seulement dans le cas de congestions, le trafic à partir du chemin numérique est permis pour déborder sur le chemin analogique et vice-versa.

1. Trafic LD de départ

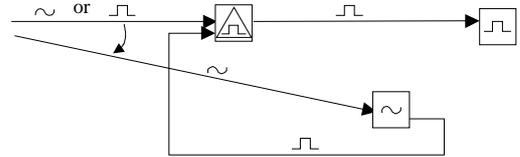


2. Trafic LD terminal d'arrivée

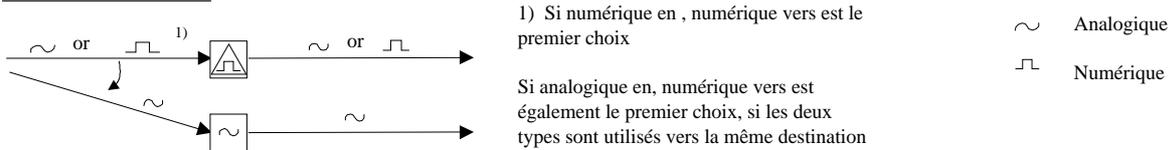
2.1 Vers les centres analogiques locaux



2.2 Vers les centres locaux numériques

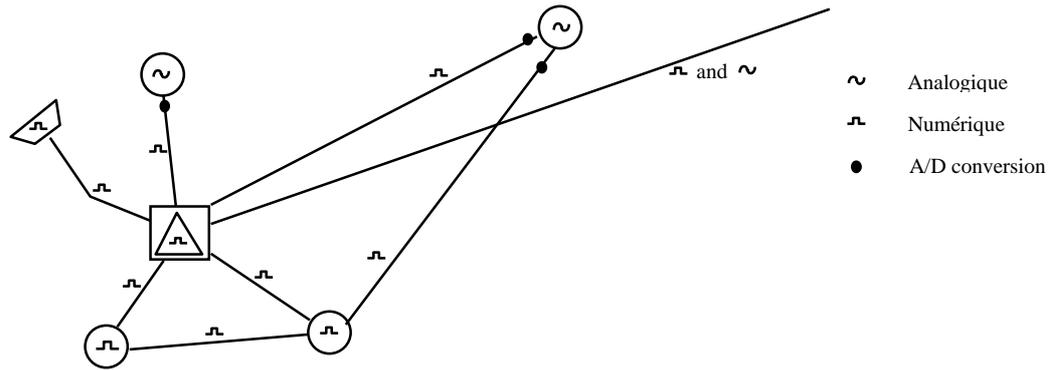


3. Trafic LD de transit



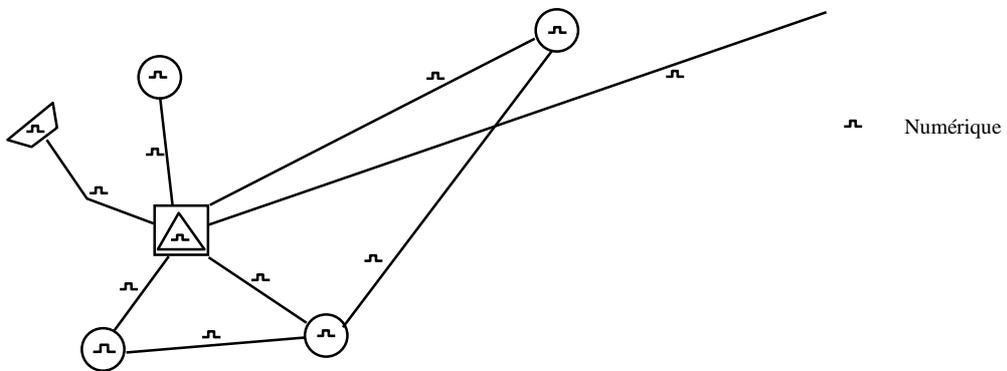
**Figure 24: Acheminement du trafic LD**

Figure 25 montre la situation après que le centre de transit analogique a été démonté.



**Figure 25: Centre de transit analogique démonté**

Figure 26 montre la structure finale du réseau avec le centre combiné tandem/transit.

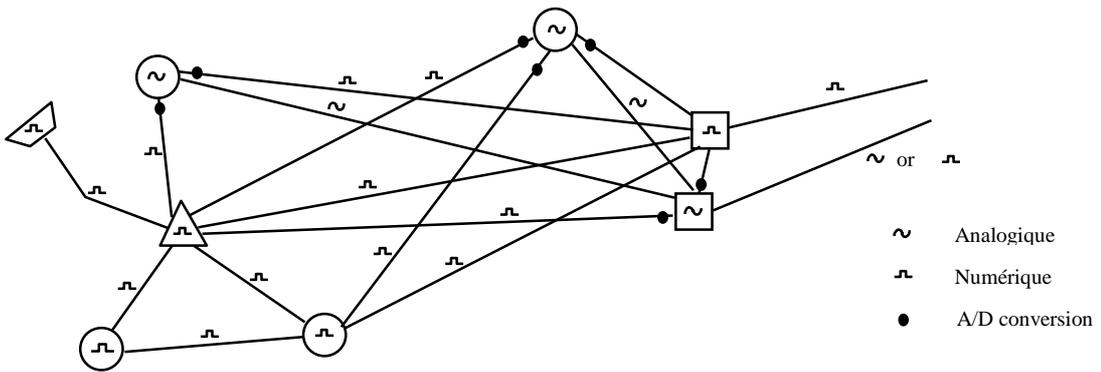


**Figure 26: Structure finale du réseau avec centre combiné tandem /transit**

### 3.5.3 L'introduction d'un centre numérique transit séparé

Il y a des cas où le trafic local et de longue distance ne peuvent pas être combinés dans un même centre, pour l'instant dans les pays où le trafic local et de longue distance sont traités par les différentes administrations. Dans d'autres cas, la même administration traite au même temps le trafic local et de longue distance mais veut séparer les deux types de trafic pour des raisons politiques et/ou administratives.

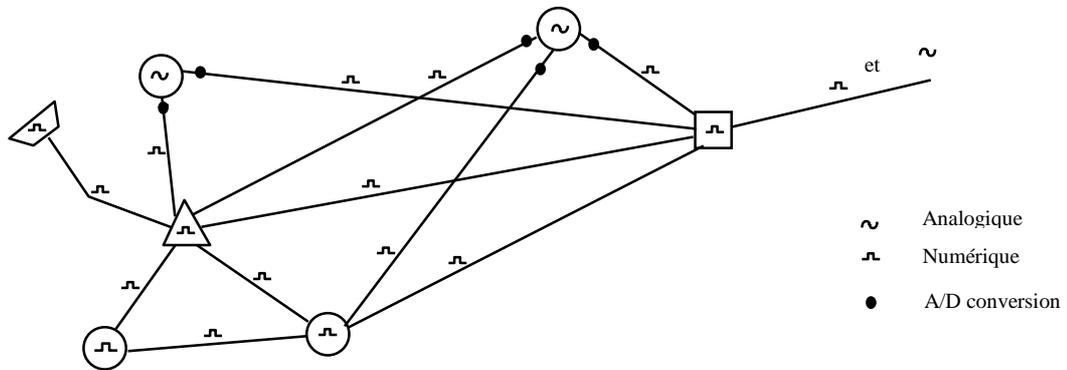
Dans tous ces cas, un centre de transit séparé devrait être introduit dans la même situation comme décrit dans la section 3.5.2 (voir Figure 27). Les faisceaux du centre local au centre de transit écoulent seulement le trafic de transit. La route directe précédente à partir d'un des centres numériques locaux vers le centre de transit analogique a été supprimée au profit du nouveau centre numérique de transit pour séparer le trafic analogique et numérique le plus que possible.



**Figure 27: Introduction d'un centre numérique de transit séparé**

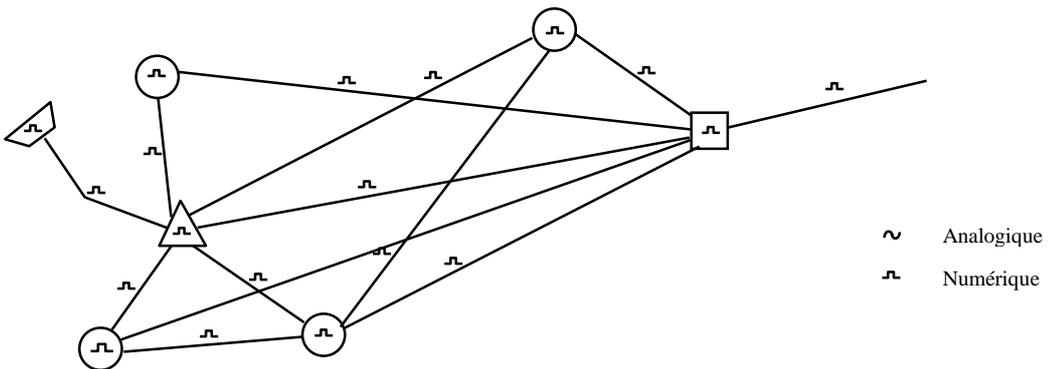
Il n'y a pas de différence dans les principes d'acheminement par comparaison aux cas où quand les fonctions de tandem et de transit sont combinées dans un centre.

La Figure 28 montre la situation après démontage du centre analogique.



**Figure 28: Centre de transit analogique démonté**

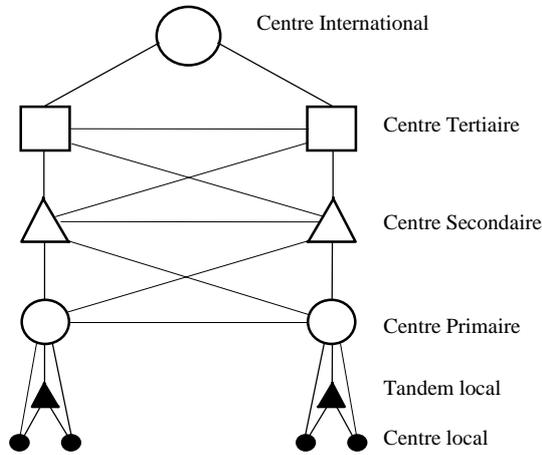
La Figure 29 montre la structure finale du réseau avec des centres de transit séparés.



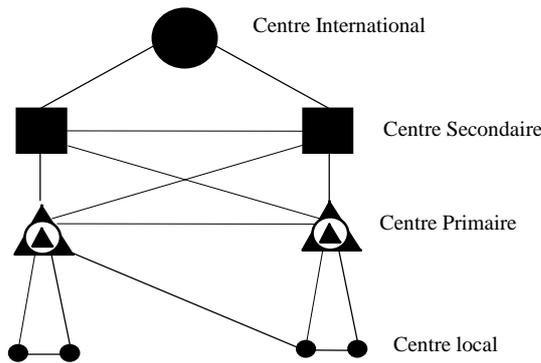
**Figure 29: Structure finale du réseau avec les centres de transit séparés**

#### 4. COMPARAISON DES RESEAUX ANALOGIQUES/NUMERIQUES

La Figure 30 montre la hiérarchie traditionnelle d'un réseau pour un réseau analogique. La structure hiérarchique d'un réseau numérique dans la Figure 31 contient peu de niveaux parce que les centres primaires peuvent être utilisés comme centre de tandem. En plus, le niveau avec les centres tertiaires n'est pas nécessaire dans la plus part des cas parce que le nouveau centre numérique a une grande capacité de commutation.

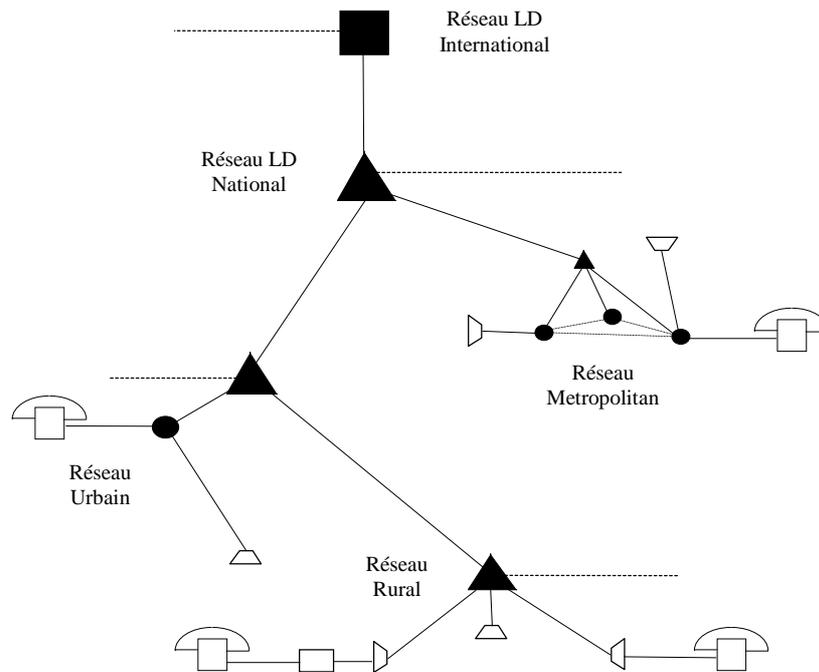


**Figure 30: Hiérarchie d'un réseau analogique**



**Figure 31: Hiérarchie du réseau numérique**

La Figure 32 montre la structure d'un réseau complètement numérique. Comparé à la structure d'un réseau analogique dans Figure 3, le réseau métropolitain contient peu de centres parce qu'il a la possibilité de couvrir des grandes zones d'abonnés par l'utilisation des Unités de Raccordement d'Abonnés Distant (URAD) et parce que les centraux numériques ont une grande capacité. Les peu mais grands centraux mènent à peu mais de grandes zones de centres et grands faisceaux.



**Figure 32: Structure d'un réseau numérique**

La tendance est la même dans des réseaux urbains que ruraux où les petits centres existant sont remplacés par des autocommutateurs d'abonnés éloignés et les multiplexeurs d'abonnés éloignés connectés au grands centraux numériques.

Pour résumer, la structure du réseau numérique est caractérisée par:

- commutation et transmission intégrées;
- utilisation étendue des centres d'abonnés distants;
- utilisation des centres combinés (local/tandem/transit).

Cela mène à:

- faible coût moyen par ligne d'abonné;
- réduction du nombre de niveaux dans le réseau;
- réduction du nombre de centres;
- grands centres;
- grandes zones de centres;
- grands faisceaux.

## 5. TENDANCE NOUVEAU DE DEVELOPPEMENT

Aujourd'hui, les tendances sont vers:

- augmentation de l'utilisation des systèmes de communications par fibres optiques;
- système PCM d'ordre élevé;
- Réseau Numérique à Intégration de Service, ISDN.