

Naissance de la commutation électronique

Le mot électronique, qui désigne d'abord les faits et théories relatifs à l'électron, prend un sens technique au milieu du XXe siècle.

Les inventeurs qui ont développé les industries et techniques qui utilisent l'électricité — télégraphe, éclairage électrique, moteur électrique, téléphone, radiocommunication, ont travaillé empiriquement, tandis que les savants élaboraient une théorie électronique de la matière.

La notion d'« appareil électronique » surgit du classement des dispositifs de détection des ondes radio, dont les principaux sont le récepteur à cristal, un semi-conducteur dont la théorie est alors « incomplètement connue ».

Le développement de la technologie des semi-conducteurs, ou microélectronique, a eu une forte incidence sur les ordinateurs, ce qui a profité à plusieurs industries de service et il a également été un facilitateur majeur de nouvelles combinaisons de produits et de technologies.

Il y a eu trois développements fondamentaux dans la révolution électronique et informatique :

- premièrement, le passage de la technologie électromécanique aux semi-conducteurs,
- deuxièmement, le développement des principes de programmation dans les ordinateurs ;
- troisièmement, la technologie numérique.

Ces trois développements ont radicalement changé le secteur des télécommunications.

On peut dire que le début de l'électronique commence en 1904, que le père de l'électronique est John Ambrose **Fleming**.

1904 L'anglais John Ambrose **Fleming** (1849-1945) le 16 novembre 1904, breveta le tube redresseur à deux électrodes, qu'il appela grille oscillatrice.

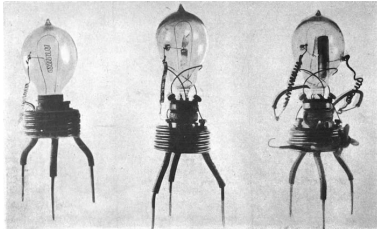
On appelait indifféremment ce composant lampe à effet thermoïonique, diode à vide, « kenotron », tube thermoïonique ou redresseur de Fleming et même "valve".

Cette invention est à l'origine de l'électronique : son fonctionnement repose sur un flux d'électrons ; les applications précédentes de l'électricité se fondaient sur des lois empiriques dégagées au cours du XIXe siècle. C'est le premier redresseur à lampe.

En plus de son utilisation comme détecteur d'ondes radio, il a également été utilisé comme redresseur d'alimentation, convertissant le courant alternatif en courant continu.

La valve de Fleming peut être considérée comme l'un des premiers vrais composants électroniques : la diode.

Ferdinand Braun avait décrit la diode à cristal dès 1878, mais l'invention du tube, plus susceptible d'une production industrielle, l'avait fait considérer comme obsolète.



Valve Fleming



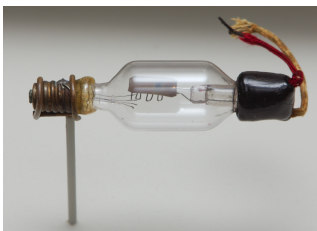
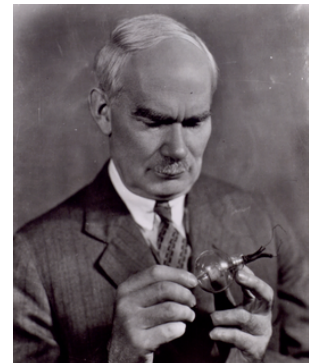
1906 en insérant une grille entre l'anode et la cathode d'une lampe diode (brevetée en 1904 par le Britannique J. A. Fleming), l'Américain **Lee De Forest** invente la **première triode** nommée **Audion** : un tube à vide capable de provoquer l'amplification d'un signal électrique. D'emblée, ce brevet est attaqué pour plagiat par Fleming.

L'Audion était le premier composant capable d'amplifier, même encore faiblement, les signaux radio ; mais pour beaucoup d'observateurs, de Forest n'avait fait que doter la valve de Fleming d'une électrode à grille : pour le reste, il s'agissait de lampes à filament émetteur et plaque réceptrice dans un tube à vide.

De Forest défendit avec énergie l'originalité de son invention, la décrivant comme un **relai amplificateur de courant**, alors que la valve de Fleming n'était qu'un circuit redresseur.

Cette invention rendait possible la communication radio à longue distance.

La triode était une invention remarquable et n'avait d'égal que l'importance de l'invention du transistor qui la remplaça 40 ans plus tard.



Audion ou Triode

L'**audion** consistait en un tube de verre sous vide contenant trois électrodes : un filament chauffé, une grille et une plaque.

Il est important dans l'histoire de la technologie car il a été le premier appareil électronique largement utilisé capable d'amplifier ; un petit signal électrique appliqué à la grille pourrait contrôler un courant plus important circulant du filament à la plaque.

La triode Audion d'origine avait plus de gaz résiduel dans le tube que les versions ultérieures et les tubes à vide ; le gaz résiduel supplémentaire limitait la plage dynamique et donnait à l'Audion des caractéristiques non linéaires et des performances erratiques. Développé à l'origine comme détecteur de récepteur radio hors site en ajoutant une électrode de grille à la valve Fleming, il a trouvé peu d'utilisation jusqu'à ce que sa capacité d'amplification soit reconnue vers 1912 par plusieurs chercheurs, qui l'ont utilisé pour construire les premiers récepteurs radio amplificateurs et oscillateurs électroniques. Les nombreuses applications pratiques pour l'amplification a motivé son développement rapide, et l'Audion original a été remplacé en quelques années par des versions améliorées avec un vide plus élevé.

Cette évolution va transformer les télécommunications, télégraphe, téléphone et radiodiffusion, son premier domaine d'application, avant de se diffuser dans le domaine des machines à calculer, qui deviennent ordinateurs et dans celui des automates, qui contrôlent toute sorte de processus.

L'invention du tube électronique va donner lieu à des batailles juridiques, paralysantes jusqu'à la première Guerre mondiale.

Les mesures d'urgence que prend le gouvernement américain en 1916 débloquent la situation afin que l'industrie produise des systèmes de communication radio pour la marine.

La paix revenue, ces capacités servent à lancer, à partir de 1920, la radiodiffusion, premier usage domestique de l'électronique.

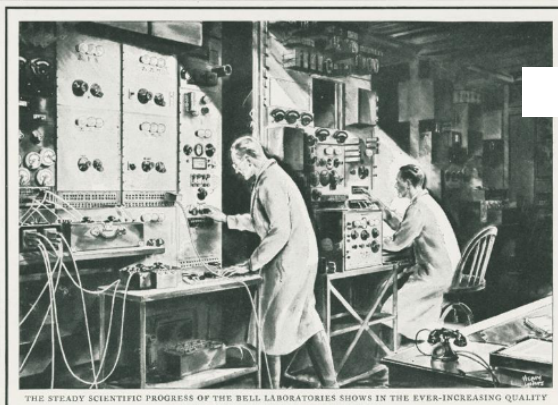
Pour maintenir leur position, les industries rivales, General Electric et AT&T, organisent des laboratoires de recherche où les ingénieurs appliquent les découvertes de la physique, et orientent la recherche plutôt vers le perfectionnement des produits existants, que vers l'exploration de nouvelles voies.

A la fin des années 1930, les ingénieurs de Bell Laboratories avaient développé ou apporté d'importantes contributions à trois types de systèmes de commutation fondamentalement différents : - Le système pas à pas était directement contrôlé depuis le cadran du client ; - le système Panel a introduit le contrôle indirect permettant aux sélecteurs d'être indépendants du cadran du client ; - le système crossbar a permis un contrôle commun par des marqueurs à grande vitesse des commutateurs utilisés pour établir des voies de conversation.

Pour la première fois, des ingénieurs connaissant bien ces nombreux agencements de systèmes philosophaient sur ces « principes du système ».

En conséquence, de nouveaux types d'activités d'étude et, pour la première fois, des activités plus fondamentales de recherche et de développement exploratoire ont commencé à apparaître dans les efforts de transition des laboratoires Bell.

Publicité AT&T des années 1930 utilisant la même image d'ingénieurs assistant assidûment à l'équipement avec la légende "les progrès scientifiques constants des laboratoires Bell se reflètent dans la qualité et la portée sans cesse croissantes de votre service téléphonique"



THE STEADY SCIENTIFIC PROGRESS OF THE BELL LABORATORIES SHOWS IN THE EVER-INCREASING QUALITY AND SCOPE OF YOUR TELEPHONE SERVICE

To clear all barriers for the human voice

An Advertisement of the American Telephone and Telegraph Company

BELL TELEPHONE LABORATORIES, Incorporated, is the scene of a progressive conquest of natural forces that aims to let you speak clearly, quickly and cheaply to any one, anywhere in the land and even to distant countries. More than 5000 scientists and assistants are busy there and elsewhere in the Bell System studying the problems of sound transmission. Its work is the growing foundation of the telephone art; and it has, besides, helped to make possible the radio, sound pictures and special apparatus for the medical profession.

Among its achievements are the underground cables which make city telephone service possible, better and faster long distance service, service to ships at sea, and to millions of telephones beyond the seas. The steady

scientific progress of the Bell Laboratories shows in the ever-increasing quality and scope of your telephone service. Its new developments in every type of equipment clarify and speed up your telephone talks and give you more and better service at low rates. Every advance it makes is available throughout the Bell System.

The Bell System is an American institution owned by more than 500,000 stockholders. It places before you the benefits of its technical achievements and the coordinated efforts of more than 400,000 trained workers. It accepts its responsibility to further the development and welfare of the nation by furnishing the public the best of telephone service at the least cost consistent with financial safety.



Le **PCM** : pulse code modulation

Alec Harley Reeves travaillait sur le premier système téléphonique transatlantique pour l'International Western Electric Company avant de rejoindre le département de recherche de l'entreprise à Paris où il a travaillé sur les problèmes de la radio longue distance, sur les transmissions par microphone ... En 1937, **Alec Harley Reeves** avait reconnu le potentiel de la **modulation par impulsions codées** pour réduire le bruit lorsque la parole est transmise sur de longues distances. Avec un signal analogique, chaque fois que le signal est amplifié, le bruit contenu dans le signal est également amplifié et un nouveau bruit supplémentaire est ajouté.

Avec la modulation par impulsions codées, il suffit de régénérer les impulsions, donc le contenu en bruit du signal n'est pas augmenté. En 1938 **Reeves** avait conclu que la meilleure façon de surmonter le problème du bruit dans la téléphonie interurbaine était de transmettre une version numérisée du signal vocal analogique.

Reeves déposa le brevet [US2272070A](#) le 22 novembre 1939 aux USA et juste avant en France sous le n° **852 183 du 23 octobre 1939**.

Le PCM : pulse code modulation, fonctionne en échantillonnant l'amplitude des signaux analogiques à des intervalles uniformes. Avant d'avoir obtenu le brevet le 3 février 1942 Reeves a mis son l'idée de côté car la réalisation nécessitait des circuits assez complexes (selon les normes des années 1930), qui n'étaient **pas rentables en utilisant des valves**. En France La modulation par impulsions codées n'a été utilisée que dans les années 1950 sur les câbles de transmission, lorsque l'invention du transistor l'a rendue viable.



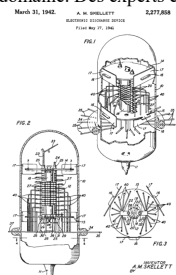
AH Reeves

[Consultez la page ou est détaillé](#) ce nouveau concept, qui sera le troisième maillon important à l'origine de la Commutation Téléphonique Electronique.

Dans le domaine de la recherche, F A Hubbard a rédigé une série de mémorandums généralisant les systèmes et l'application des principes de circulation. Les avantages de l'introduction de la vitesse comme facteur dans le contrôle et la signalisation entre les systèmes de commutation ont été indiqués comme une voie vers l'avenir. La vitesse pourrait être obtenue en considérant l'application de l'électronique.

En conséquence, de nombreuses idées appliquant des "**tubes à gaz**" multiéléments au contrôle des commutateurs crossbar ont été proposées.

En particulier, W H T Holden a reçu plus de 100 brevets, dont beaucoup sur de tels arrangements. Beaucoup d'autres ont été suggérés par d'autres personnes travaillant dans le domaine. Des experts en tubes à vide, dirigés par **A M Skellett**, ont proposé l'équivalent électronique des sélecteurs utilisant des tubes à faisceau.



[Agrandir](#)

Tube de commutation à faisceau, (brevet américain 2 277 858, déposé le 17 mai 1941), un exemple des premières tentatives pour augmenter les vitesses de commutation grâce à l'électronique.

Le succès de l'idée de contrôle commun a conduit au concept de commutation "space division", où les techniques de multiplexage de fréquence ont été combinées avec la sélection électromécanique

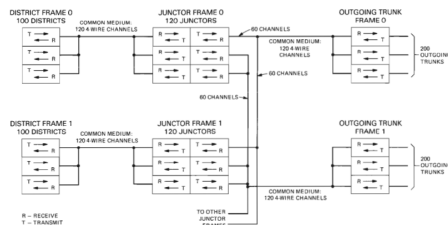


Fig. 5-2. Common Media Switching System from U.S. Patent 2,345,048, filed November 13, 1941, an example of an attempt to apply frequency multiplex transmission techniques to switching.

[Agrandir](#)

Pour la première fois, une commutation dans un autre domaine a été proposée, dans laquelle les chemins établis sont séparés dans l'espace.

La contribution la plus importante émergeant de la recherche liée à la commutation à ce stade a peut-être été le développement de méthodes de signalisation à courant alternatif. Avec les tonalités, il était possible d'envoyer des signaux de supervision et d'impulsion sur les mêmes distances que les signaux vocaux. Au départ, des tonalités simples étaient utilisées pour représenter les périodes d'ouverture des impulsions de numérotation et pour «sonnerie» sur les lignes à péage.

Au fur et à mesure de l'avancement de cette recherche, des tests ont été effectués sur le terrain et il a été constaté que ces signaux étaient sujets à une distorsion, de sorte que la vitesse de pulsation était ralentie. Peu à peu, un nouveau concept a été introduit, celui d'envoyer plusieurs tonalités qui, en combinaisons, représentent un chiffre.

Bien que ces signaux ne puissent pas être utilisés directement pour contrôler les sélecteurs, l'idée d'utiliser des registres et des émetteurs était de plus en plus acceptée, car ils étaient utilisés à la fois dans les parties d'origine et de terminaison des systèmes crossbar locaux...

Au début de la Seconde Guerre mondiale, la seule technologie disponible pour la communication vocale sécurisée était le système Scrambler (brouilleur). Les autorités militaires américaines ne savaient pas que les Allemands avaient cassé le A-3 Scrambler. Néanmoins, les officiers supérieurs de l'armée comme le général George Marshal ne faisaient pas confiance à A-3 pour transmettre en toute sécurité les informations les plus sensibles. Très tôt dans la guerre, l'armée américaine a demandé aux Bell Labs d'imaginer une nouvelle façon de **sécuriser les communications vocales**. Il est vite apparu que la numérisation du signal vocal analogique permettrait d'appliquer des techniques de chiffrement au message.

Avec des accords de licences croisées avec IT&T, les gens des Bell Labs se sont tournés vers le travail de **Reeves** sur le PCM.

Le système de chiffrement de la parole qui en a résulté, appelé **SYGSAFY**, est devenu le premier exemple fonctionnel de la **technologie PCM**.

Sous le manteau du secret, Les Bell Labs ont fait de grands progrès dans l'avancement de l'état de l'art des techniques PCM.



Borne SIGSALY (1943)

À la fin de la guerre, plusieurs groupes des Bell Labs avaient travaillé sur le PCM.

Au cours de la période 1947-48, dans de nombreux articles, les travaux des Bell Labs sur le PCM sont finalement devenus publics. HS Black et JO Edson, qui avaient joué un rôle clé dans les efforts de cryptage de la parole des Bell Labs, ont publié leur compte rendu dans AIEE Transactions.

Ils ont annoncé au monde qu'une "technique de modulation radicalement nouvelle pour la téléphonie multicanal a été développée, qui implique la conversion de la parole en impulsions codées". Ils ont également reconnu l'importance du brevet Reeves.

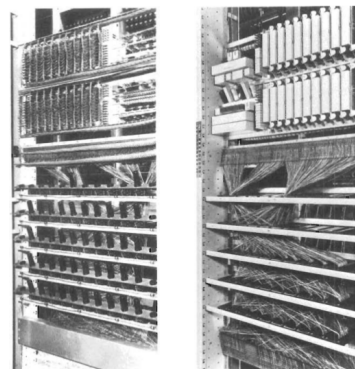
Il est intéressant que Black et Edson aient choisi une revue de l'"AIEE Transactions" et non de l'"IRE" pour révéler ce travail au monde.

Ce qui frappe dans ces articles, et dans tous les autres publiés par le groupe Bells Labs à la fin des années 1940, c'est l'absence de toute référence au cryptage de la parole, qui avait été le moteur de l'entrée de Bell dans le PCM. La transition vers les applications civiles semble s'être faite sans heurts. Lorsqu'il s'agissait d'investir dans la R&D dans le PCM, les Bell Labs n'ont jamais quitté des yeux la mission centrale de l'entreprise, l'activité de communications téléphoniques. Bien que le PCM à usage civil ait pris un bon départ, les progrès sont restés lents.

L'utilisation du radar pendant la Seconde Guerre mondiale a apporté des progrès dans l'utilisation des tubes pour détecter les signaux radio, ainsi que dans la compréhension des semi-conducteurs.

1945 AMA Une nouvelle invention pour le traducteur des centres téléphoniques s'est avérée être une grande avancée dans les fonctions de mémoire, en particulier compte tenu de la date de 1945.

L'inventeur était T. L. Dimond, utilisait des enroulements de solénoïdes, appelés "anneaux" (tore de ferrite), à travers lesquels étaient enfilés des fils représentant les translations (acheminement de l'appel selon le numéro demandé). Il est rapidement devenu connu sous le nom de traducteur d'anneaux Dimond. Des impulsions sont envoyées à travers les fils sélectionnés par un des relais. Les impulsions étaient induites dans les anneaux et détectées par des tubes à gaz. Le traducteur initial n'a accepté que 1000 traductions. Plus tard (1958) une version plus compacte pour 2000 traductions a été développée. Le traducteur à anneaux Dimond a également été utilisé plus tard dans le système tandem à barres transversales. Ce principe de traduction de base a été utilisé par beaucoup d'autres, pas seulement dans crossbar systèmes mais aussi sous une forme adaptée.



A Dimond ring translator: gas tubes at left, "rings" at right.

En 1946 La première génération d'ordinateurs électroniques utilisait des vannes ou tubes à gaz.

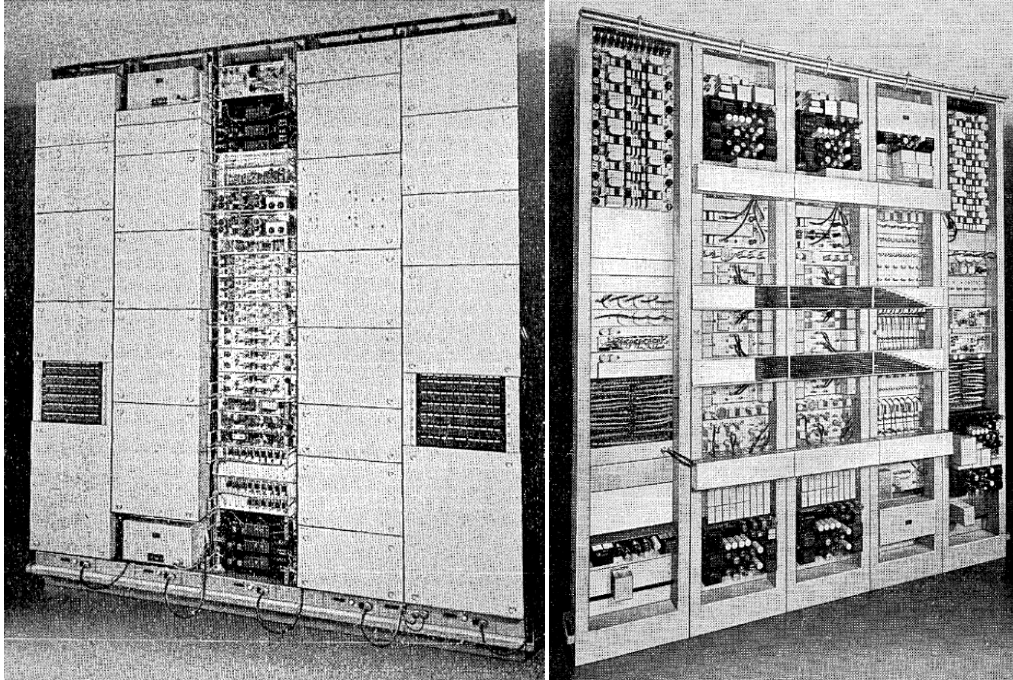
En 1947, Bell Labs a présenté son premier **transistor**. AT&T a contribué à une distribution rapide de la technologie. Il avait une grande variété d'applications, notamment pour l'armée, qui est devenue le principal marché de l'industrie des semi-conducteurs en évolution rapide.

L'utilisation croissante du transistor s'est heurtée au même problème que le tube à vide, à savoir des problèmes de fiabilité et de complexité.

A mesure que le nombre de transistors utilisés dans un système augmentait, la probabilité que la défaillance d'un seul composant ou d'une interconnexion provoque une défaillance du système augmentait de façon exponentielle.

1947 on trouve dans les archives Bell la description du système **PCM** et l'équipement expérimental..

A cette époque il n'y avait pas encore de transistor, le système fonctionnait avec des lampes à vide spécifiques, l'installation était imposante.



1948 Vue de face d'un équipement terminal *PCM expérimental*, et vue avec les couvercles retirés d'une baie de groupe à 12 canaux. Les câbles dans les conduits horizontaux transportent des impulsions de synchronisation vers la gauche depuis la baie de synchronisation.

Revenons dans les années 1940 à la commutation téléphonique électronique.

Des progrès ont amené à croire que les centraux électroniques pourraient se développer dans un court laps de temps sans recourir à d'autres systèmes électromécaniques. Hormis la Belgique (nous avons montré le commutateur Bell de 1956 avec seulement 20 lignes), trois pays se sont fortement investis dans cette voie :

1 - En Amérique

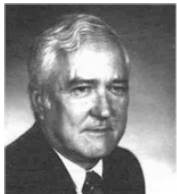
Les premiers travaux importants des Bell Telephone Laboratories commencent donc à la fin de la guerre. A cette époque sont entreprises des études sur les possibilités que l'électronique est susceptible d'apporter à la commutation. Dans l'esprit des chercheurs et des ingénieurs, les vitesses élevées de fonctionnement rendues possible par l'électronique doivent permettre d'ouvrir des voies nouvelles dans la conception même des centraux.

On sait que, dans un système de commutation électromécanique, il est nécessaire de disposer d'un certain nombre d'organes de commande fonctionnant simultanément, pour faire face au trafic qui se présente à heures chargées (de l'ordre de plusieurs dizaines d'appels par seconde dans les grands centraux). L'idée des ingénieurs et des chercheurs fut d'expérimenter un système dans lequel on effectuerait une seule opération à la fois, pour chaque catégorie de fonction (one at a time operation). Ce principe sera mis en œuvre, en 1947, dans un système expérimental, baptisé Experimental Electronically Controlled Automatic Swilching System, **ECCASS**.

Un pas important allait être franchi dans l'élaboration des principes fondamentaux de la commutation électronique avec la conception et la réalisation, par les Bell Laboratories, d'un nouveau système, expérimenté en 1951, et connu sous le nom de Drum Information Assembler and Dispatcher, **DIAD**. C'est dans le principe même de la fonction d'exploration que réside l'innovation essentielle de ce système : alors que dans l'ECCASS on cherchait à adapter le poste téléphonique au concept de base de la commutation électronique (une seule opération à la fois pour un type d'organe), dans le système DIAD, on prend les postes téléphoniques tels qu'ils sont et c'est le système central de commande que l'on conçoit en fonction de cette donnée. Dans le système DIAD, le temps nécessaire à l'organe de commande et au réseau de connexion pour établir une communication était d'environ 0,02 seconde, ce qui permettait d'envisager la réalisation de centraux téléphoniques d'une capacité de 10 000 lignes et 2 000 circuits.

Reprenons le fil de l'histoire :

Dès 1928 à la Bell Telephone, la personne qui va mener les recherches et travaux sur la commutation électronique est **HE Vaughan**



H. Earle Vaughan (1912-1978) a commencé sa longue carrière dans le Bell système en 1928 en tant qu'assistant aux laboratoires Bell. Il a été promu au poste d'assistant technique et tout en travaillant à ce titre, il a fréquenté le Cooper Union College de New York, où il a obtenu son baccalauréat ès sciences en 1933.

Vaughan est devenu responsable de la planification et du développement du système de commutation électronique.

Avant 1940 et pendant les années de guerre, Vaughan a travaillé sur une variété de projets de transmission et de signalisation, dont certains liés à la défense.

En 1945, il entreprit des travaux de recherche sur un système expérimental de commutation automatique à commande électronique appelé "ECASS", un système à grande vitesse utilisant des tubes à gaz à cathode froide, des interrupteurs à lames et un poste téléphonique spécial.

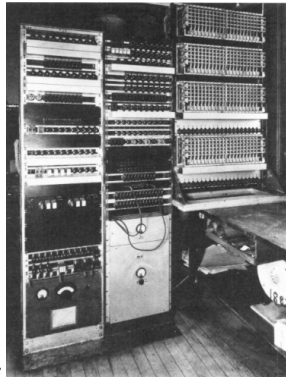
Ce projet a été suivi quelques années plus tard par des travaux sur un autre système de commutation *expérimental* - **Drum Information Assembler and Dispatcher** - "**DIAD**". techniques de balayage dans la commutation.

En 1952, Vaughan est devenu superviseur au département de recherche sur la commutation, où il a mené des études sur les utilisations des mémoires à transistors, ferroélectriques et magnétiques à utiliser dans les systèmes logiques. En 1955, il est nommé chef du département de recherche sur la commutation. Ses travaux antérieurs sur **ECCASS**, **DIAD** et d'autres systèmes de commutation expérimentaux ont ouvert la voie à des travaux importants sur un centre à semi-conducteurs expérimental **ESSEX**, qui a débuté en 1955.

Ce système, utilisant des dispositifs à semi-conducteurs, était basé sur le concept de commutation et transmission par répartition dans le temps. Il utilisait une modulation par impulsions codées pour convertir les signaux analogiques en signaux numériques dans des concentrateurs de ligne distants, et utilisait également un commutateur temporel central.

Vaughan a été nommé directeur du Centre de recherche sur les systèmes en 1958 et il a assumé la responsabilité de quatre départements impliqués dans la recherche sur les circuits numériques. En 1962, Vaughan a été transféré dans la zone de développement des systèmes de commutation pour occuper le poste de directeur du centre du système de commutation électronique. À ce poste, il était responsable de la conception du système et du logiciel pour l'**ESS n° 1**, le premier grand système de commutation électronique commercial, mis en service en 1965. En 1968, Vaughan a assumé la responsabilité globale de la planification et du développement de l'**ESS n° 4**. Il a pris sa retraite en mars 1976, achevant une carrière dans les télécommunications de plus de quatre décennies, plus de la moitié consacrée à la conception et au développement de technologies et de systèmes de commutation téléphonique avancés.

Avant-guerre, dans les laboratoires Bell, l'une des expériences de recherche a été la commande électronique par "tube à gaz" de selecteurs Crossbar.



Premier modèle de laboratoire

Après la Seconde Guerre mondiale, cet effort a été relancé avec une vue vers un petit centre de numérotation communautaire crossbar (COO) qui serait plus fiable. Le résultat a été un développement exploratoire effectué dans le département de recherche.

De 1942 à 45, des études ont été faites sur la commutation par répartition dans le temps, mais les systèmes utilisant cette technique se sont avérés limités en capacité. Dr T. C. Fry, à l'époque était directeur de la recherche sur la commutation aux Bell Telephone Laboratories,

Sous la direction de W. D. Lewis, l'équipe de E. B. Ferrell, W. A. Malthaner, C. A. Lovell, M. Karnaugh, W. A. MacNair, H. E. Vaughan, J. D. Johannesen, D. B. James, J. R. Runyon, E. Bruce, N. D. Newby et bien d'autres ont établi de nouvelles idées et dispositifs de commutation, cela a suscité l'intérêt pour la commutation électronique non seulement dans les laboratoires Bell, mais aussi dans le monde entier.

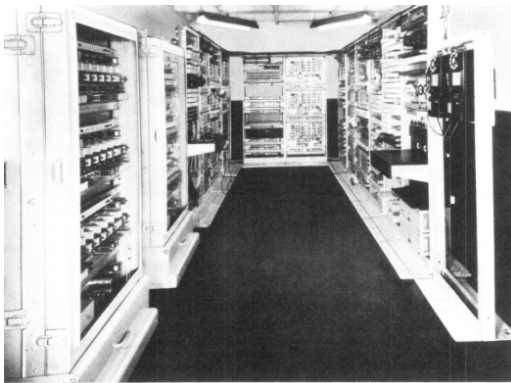
En 1945, Vaughan entreprit les travaux de recherche sur un système expérimental de commutation automatique à commande électronique, envue d'équiper un petit bureau crossbar qui serait plus fiable que le système précédent. Le développement a été réalisé au sein du bureau d'études sous la supervision de F. A. Korn de l'organisation de développement. La conception du système a commencé en 1946. Le plan du système était très similaire au précédent.

La plupart des efforts d'après-guerre ont commencé avec des systèmes à commutation spatiale, utilisant d'abord des commutateurs à contacts scellés, comme dans le système expérimental connu sous le nom d'ECASS (pour "Electronically Controlled Automatic Switching System").

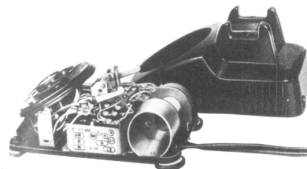


Interrupteur à lames sèches scellé dans du verre.

Ce principe est mis en œuvre, en 1947, dans un système expérimental, baptisé *Experimental Electronically Controlled Automatic Switching System* ou [ECCASS](#). Système à grande vitesse utilisant des tubes à gaz à cathode froide, des interrupteurs à lames et un poste téléphonique spécial.



Le Poste téléphonique.



Pour beaucoup plus de détail, [consulter le document \(pdf\) de la Bell Labs.](#)

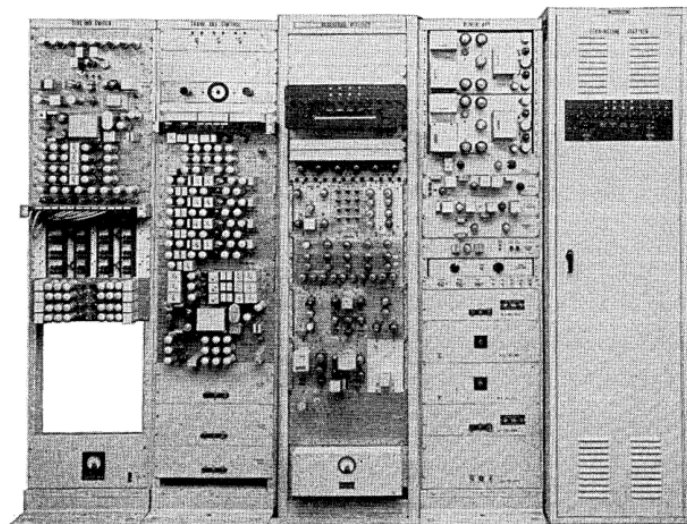
Le téléphone utilisait deux transistors dans un amplificateur accordé pour détecter une fréquence de sonnerie particulière et amplifier le signal pour piloter la sonnerie miniature. Le circuit à transistor fourni une amplification pour la sonnerie et la parole.

On sait que, dans un système de commutation électromécanique, il est nécessaire de disposer d'un certain nombre d'organes de commande fonctionnant simultanément, pour faire face au trafic qui se présente à heures chargées (de l'ordre de plusieurs dizaines d'appels par seconde dans les grands centraux).

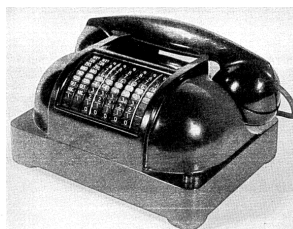
L'idée des ingénieurs et des chercheurs fut d'expérimenter un système dans lequel on effectuerait une seule opération à la fois, pour chaque catégorie de fonction (one at a time operation).

Un ECASS expérimental a été construit pour des tests de charge en laboratoire est. Sur ces châssis de gauche à droite : châssis n° 1, un circuits d'actionneur de ligne 'automate d'appel', le réseau de commutation et de commandes ; Châssis n° 2, tronc, actionneur extérieur et circuits de groupe de numéros ; Châssis n°3, circuits récepteurs d'origine ; Châssis n°4, alimentations ; et la Châssis n° 5, terminaison des circuits récepteurs.

Deux téléphones spécifiques ont été développés pour cette occasion. [Cette expérience est devolppée dans cette page.](#)



Skeletonized laboratory model of ECASS.



En 1949, de nombreux modèles avec ces concepts existaient et stimulaient la réflexion de nombreux ingénieurs sur les systèmes de commutation électronique en général. Un système de séparation temporelle à 100 lignes, comme que l'on appelait alors *division temporelle*, a été construit en 1950, et un système de division de fréquence a été étudié. Des circuits de verrouillage à transistors et, éventuellement, des points de croisement ont été réalisés, des expériences de réseau on été menées en 1951.

Le stockage sur (disque) "tambour magnétique" a été utilisé dans le système DIAD

Un pas important allait être franchi dans l'élaboration des principes fondamentaux de la commutation électronique avec la conception et la réalisation, par les Bell Laboratories, d'un nouveau système, expérimenté en 1951, et connu sous le nom de *Drum Information Assembler and Dispatcher, DIAD*. C'est dans le principe même de la fonction d'exploration que réside l'innovation essentielle de ce système : alors que dans l'ECASS on cherchait à adapter le poste téléphonique au concept de base de la commutation électronique (une seule opération à la fois pour un type d'organe), dans le système DIAD, on prend les postes téléphoniques tels qu'ils sont et c'est le système central de commande que l'on conçoit en fonction de cette donnée. Dans le système DIAD, le temps nécessaire à l'organe de commande et au réseau de connexion pour établir une communication était d'environ 0,02 seconde, ce qui permettait d'envisager la réalisation de centraux téléphoniques d'une capacité de 10 000 lignes et 2 000 circuits.

En 1951, C. E. Brooks et son groupe d'ingénieurs système à la "Bell Laboratories West Street" à New York a commencé à définir les exigences d'un bureau central électronique. Les anciens centraux téléphoniques avaient besoin de remplaçants plus modernes, et l'électronique semblait offrir une opportunité économique et d'espace importante. C'était une époque qui avait vu l'invention du transistor et l'introduction de l'ordinateur électronique à programme enregistré. De plus, les évolutions technologiques très rapides commençaient tout juste à rendre disponibles de nouveaux composants à haut débit destinés à la commutation téléphonique. Des centraux ou des sous-systèmes fonctionnels ont été conçus, construits et testés par les ingénieurs de Bell Labs dans le cadre de la recherche sur la commutation à Murray Hill, New Jersey et du développement de la commutation à West Street. Ces efforts ont été mis en parallèle et soutenus par des innovations par les organisations de recherche physique et de développement d'appareils électroniques de Murray Hill. La conception d'ECASS et de DIAD a servi de base à l'étude, mais l'innovation continue et l'évolution des technologies orientaient déjà les choix pour les appareils et les méthodes de fonctionnement du système ...

Le projet ESS

Extrait du livre [The Electronic Switching System TRIAL INSTALLATION, MORRIS, ILLINOIS \(1960\)](#)

En 1952, Vaughan devenu superviseur au département de recherche sur la commutation, où il a mené des études sur les utilisations des mémoires à transistors, ferroélectriques et magnétiques à utiliser dans les systèmes logiques. En 1955, il est nommé chef du département de recherche sur la commutation. Ses travaux antérieurs sur ECASS, DIAD et d'autres systèmes de commutation expérimentaux ont ouvert la voie à des travaux importants sur un centre à semi-conducteurs expérimental.

En septembre 1955, Lovell et Ketchledge décidèrent de passer au contrôle par programmes enregistrés. Ces unités appelées ESSEX pour un "Centre expérimental à semi-conducteurs" simulent une partie du système construit pour l'étude exploratoire des possibilités d'intégration de la transmission et de la commutation à l'aide de techniques PCM (modulation par impulsions et codage).

A cette date la conversion PCM est effectuée dans des "concentrateurs" spéciaux proches d'un certain nombre de clients. Il faut côté central, installer l'autre concentrateur pour démoduler les conversations. Ce n'est pas encore satisfaisant et viable. En raison des progrès limités de l'électronique à l'époque (basés sur l'utilisation de tubes à vide).

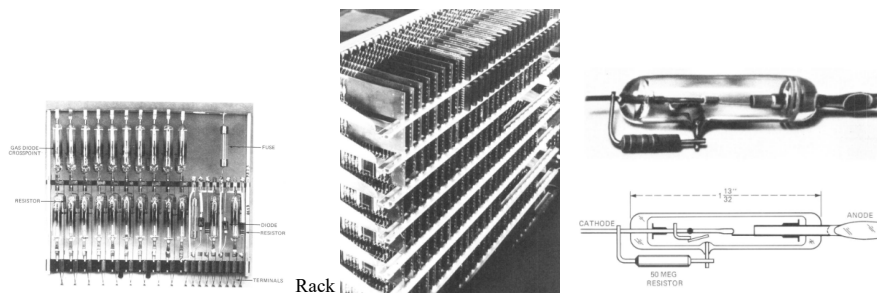
En 1957, la situation est nouvelle : le programme de construction d'un commutateur entièrement électronique de type spatial entre dans sa phase industrielle. Deux conceptions techniques vont émerger de l'électronisation des commutateurs : le spatial et le temporel. Schématiquement, on peut distinguer deux opérations essentielles : la commande et l'exécution de l'aiguillage des communications. Les deux techniques ont recours pour la commande à des calculateurs de type universels (avec de nombreuses variantes). En revanche, l'aiguillage (réalisé par un réseau de connexion) est radicalement différent : en spatial, le signal entrant par un circuit est aiguillé vers un autre (sortie) par un réseau physique dont le point de croisement est activé par un composant (diode à gaz, relais, diode pnpn...). Dans la seconde, il n'y plus de notion de circuit; une communication (une série de paquets de bits) est aiguillée vers une sortie par des moyens purement logiques (répartition temporelle).

La commutation des circuits téléphoniques doit se faire à l'aide d'un composant spécifique, une diode à gaz. Les américains mettent l'accent sur le cœur du système, un calculateur de type universel programmable qui commande l'ensemble des opérations effectuées par un central téléphonique. Ces ingénieurs semblent surtout préoccupés par les difficultés rencontrées dans la mise au point et la fiabilité de certains éléments, notamment les mémoires vives et permanentes. Les développeurs américains soulignent leur visée : leur système doit permettre d'intégrer aisément des améliorations sans de lourdes et coûteuses interventions matérielles, par exemple offrir des fonctionnalités nouvelles, telles que la possibilité d'obtenir des numéros abrégés, le transfert d'appels, des services du type lignes groupées, etc., une exigence qui répond, pensent-ils, à une forte attente des abonnés américains, déjà très nombreux et plus rompus à l'usage du téléphone que les abonnés des autres pays (Europe, Japon).

En 1957-1958 au Whippany, New Jersey Laboratory, un modèle de laboratoire a été assemblé et les premiers programmes de commutation téléphonique ont été écrits. À ce moment-là, Morris, dans l'Illinois, avait été sélectionné pour le site d'essai sur le terrain, le système modèle est devenu connu sous le nom de «pré-Morris». (tout cela est raconté en bas de page).

Le réseau de commutation et le réseau concentrateur associé fournissent les chemins pour la parole permettant d'interconnecter les lignes téléphoniques entre elles, et les jonctions et signaux divers (sonnerie, tonalité, etc.). L'élément basique de commutation est un tube à gaz à cathode froide (photo ci dessous). Il s'agit d'une diode remplie de néon utilisant une cathode creuse pour obtenir une résistance négative. à l'état conducteur. Cela tend à compenser les pertes de transmission des transformateurs et d'autres éléments dans le chemin de conversation. Ces tubes à gaz sont disposés dans des racks. L'application de la moitié de la tension de claquage sur un fil d'entrée et un fil de sortie provoque l'allumage du tube à gaz reliant ces fils et connecte les fils pour la transmission de la parole. Un seul côté du circuit de transmission est commuté, l'autre côté étant mis à la terre. Un grand nombre de ces commutateurs sont connectés ensemble pour former le réseau complet. Une connexion typique se faisait avec un tube dans un commutateur concentrateur, puis par six tubes dans le réseau de commutation, et enfin par un tube dans un commutateur concentrateur vers l'autre téléphone.

Les points de croisement des tubes gaz et les circuits de commande sont assemblés dans des boîtiers enfichables qui sont ensuite insérés dans l'armoire. Cela permet une maintenance et une croissance faciles.

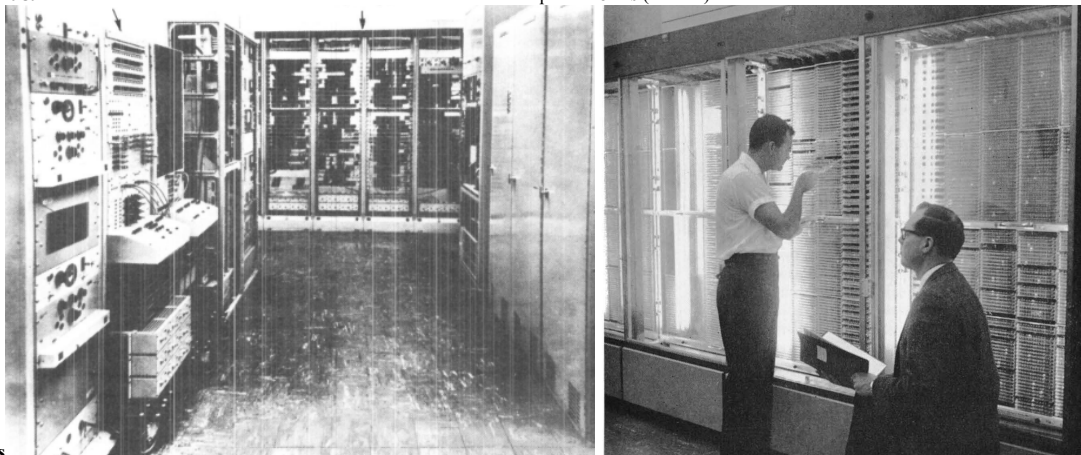


Circuits et connecteurs enfichables utilisés dans le système de commutation électronique du modèle de laboratoire du milieu des années 1950. AT&T a créé des composants spécialement conçus pour être utilisés dans ce type de système. Brevet [US2743316A](#) de 1953.

1958 Le premier appel téléphonique a été passé via ce système en mars. Grâce à l'utilisation de la modulation par impulsions et codage (PCM), les signaux sont convertis en impulsions numériques codées. Ces impulsions sont transportées à grande vitesse vers leurs destinations sur quelques lignes seulement et sont ensuite reconverties en signaux standard pour la livraison.

Jugeant leur expérience solide, estimant le développement de leur prototype suffisamment avancé, évaluant leur avance technologique suffisante, les responsables du projet **ESS** (Laboratoires Bell et Western Electric) décident de réunir un **symposium international** privé du **4-6 mars 1957**. Ils invitent les ingénieurs et chercheurs de tous les exploitants ou fabricants de matériels avec lesquels la Western Electric a des accords de brevets afin de leur présenter en détails leur prototype, leurs choix techniques et technologiques, dont trois ingénieurs français étaient présents.

Début 1959 les américains assistent à la mise en service du central électronique à **Morris** (Illinois)



Morris

A droite, le réseau de concentration et de distribution du système Morris. Les lampes fluorescentes excitaient suffisamment d'électrons libres pour que les tubes à gaz fonctionnent. D.T. Osmonson vérifiant le fonctionnement d'un module de tube à gaz dans le réseau de diodes du réseau.)

Fin des années 1950, La diode à quatre couches était la clé du plan de **William Shockley** pour révolutionner le système téléphonique d'AT&T. C'était un excellent appareil en théorie, mais pas en pratique - du moins pas à l'époque où Shockley voulait le construire. La diode à quatre couches, également connue sous le nom de diode Shockley, est un cristal composé de couches alternées de semi-conducteurs de type N et P. En mettant quatre couches, au lieu des trois utilisées dans les transistors, la diode Shockley pourrait faire plus qu'un transistor. D'une part, il agissait comme un redresseur, capable de transformer le courant alternatif en courant continu. Deuxièmement, il s'est allumé et éteint lorsqu'une quantité spécifique de tension - connue sous le nom de tension de basculement - a été appliquée. La diode à quatre couches pourrait donc être utilisée pour remplacer à la fois les redresseurs et les transistors nécessaires pour connecter les appels téléphoniques.

Essentiellement, la diode à quatre couches était le premier circuit intégré puisqu'elle effectuait le travail de deux transistors, de deux résistances et d'une diode, le tout dans un monocristal. Malheureusement, ils étaient si difficiles à fabriquer que la société de Shockley, Shockley Semiconductor, n'a jamais réussi à en construire qui soient vraiment commercialement viables.

Lorsque le circuit intégré a été inventé en 1958, il a éclipsé les capacités de la diode à quatre couches et tout marché pour la diode s'est rapidement tari.

Entre 1960 et 1962 AT&T a mené des essais sur le terrain d'un nouveau système de commutation électronique qui utilisait une variété de dispositifs et de concepts. La première version commerciale, mise en service en 1965, est connue sous le nom de **N°1 ESS**.



Le système de commutation électronique **n° 1 ESS** a été le premier central téléphonique à commande par programme enregistré (SPC). Il a été fabriqué par Western Electric et mis en service pour la première fois à **Succasunna**, New Jersey, le 30 mai **1965**.

Le commutateur ESS I, était basé sur la commutation de type spatiale.

Le ESS 1 utilise 160 000 diodes, 55 000 transistors et 266 000 résistances, condensateurs et autres composants. Ceux-ci étaient montés sur des circuits imprimés enfichables uniques. Le ESS 1, bien qu'il ne s'agisse pas d'un commutateur "numérique", puisque les appels étaient toujours traités dans un format audio analogique à l'aide de relais Reed miniatures dans un format matriciel de type barre transversale. Mais le principal avantage était un nouveau concept appelé **Stored Program Control (SPC)**, qui permettait au

commutateur d'avoir une mémoire électronique. Cela a permis de nouvelles fonctionnalités telles que l'appel en attente, le renvoi d'appel et la numérotation abrégée. D'autres avantages étaient la possibilité de modifier la "programmation" du commutateur en cas de besoin pour modifier les paramètres (routages d'appels) et d'ajouter des fonctionnalités supplémentaires lors de leur développement. Les commutateurs crossbar et pas à pas existants fonctionnaient en temps réel et exécutaient les commandes au fur et à mesure. Le ESS 1 pouvait stocker tous les chiffres composés et agir en conséquence une fois la numérotation terminée.

Début 1965, les systèmes PCM en exploitation comprenaient environ 3000 groupes de 24 canaux de type T1, aux États-Unis.

Bell aura passé 10 ans et 500 millions de dollars pour développer le système de commutation électronique numéro 1.

Quatre ans après, en 1969, le réseau téléphonique du Bell System comporte déjà **50 centraux de type ESS I** en service.

Les ingénieurs du Bell System ne se contentèrent pas de développer la commutation électronique pour les seuls centraux téléphoniques urbains. Dès le début des années 60, ils s'intéressèrent aux centraux téléphoniques privés, couramment désignés sous le sigle PBX (Private Branch Exchange).

Un document complet et très détaillé est accessible à [cette adresse \(cliquez sur le lien\)](#). **En fin de page l'épopée Américaine est racontée en détail.**

Au Etats-Unis, le système temporel **ESS 4** n'arriva qu'en 1976 bien après le système PLATON de la France en 1970.

2 - En Angleterre

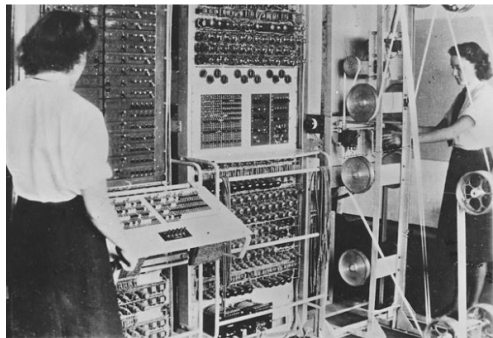
1943 Deux Britanniques **TH Flowers** et **A Turing** en pleine guerre mondiale, conçoivent une machine pour déchiffrer les messages issus des machines allemandes **Enigma**.

Ce qui est généralement considéré comme le premier ordinateur électronique programmable au monde **Colossus** a été conçu et construit par une équipe de la Post Office Research Branch dirigée par **TH Flowers**. Il a été construit à Dollis Hill et transporté à Bletchley Park près de Milton Keynes, où il a été présenté le 8 décembre 1943. Bletchley Park était le centre des opérations britanniques de décryptage des codes en temps de guerre.

Le but de Colossus était de déchiffrer les communications cryptées allemandes non Morse - connues sous le nom de "Fish" à Bletchley - qui étaient transmises à grande vitesse sur un téléimprimeur, appelé Lorenz SZ, en utilisant l'alphabet Baudot à 32 lettres. Le mathématicien Bill Tutte avait cassé les codes du téléimprimeur allemand en 1941, mais il était reconnu que le processus de décryptage pouvait être largement automatisé pour réduire le temps nécessaire pour déchiffrer les messages.



La grande contribution de Flowers a été la reconnaissance qu'un signal électronique pouvait être utilisé pour reproduire le modèle de code généré par la machine de Lorenz, qui pouvait ensuite être lu par des capteurs optiques dans un dispositif de décryptage de code. Il a proposé d'utiliser des **vannes** au lieu des unités de commutation mécaniques utilisées dans un appareil antérieur. Sa proposition n'a pas été prise au sérieux au début, car les vannes étaient considérées comme trop peu fiables et fragiles, mais Flowers savait, grâce à ses recherches d'avant-guerre sur les systèmes téléphoniques électroniques, que les vannes étaient fiables si elles n'étaient pas déplacées ou éteintes.



Flowers a été consulté par Max Newman (plus tard professeur de mathématiques à Manchester) qui était responsable du processus d'automatisation. Flowers travaillait à Bletchley depuis l'année précédente, lorsque le mathématicien **Alan Turing** et ses collègues cryptanalystes avaient demandé l'assistance technique de la Poste pour casser Enigma.

Décrite par Flowers comme une "affaire de ficelle et de cire à cacheter", Colossus était capable de traiter 5 000 caractères par seconde pour parcourir les millions de combinaisons possibles.

Le premier Colossus est entré en service à Bletchley Park en janvier 1944. Il a dépassé toutes les attentes. Le jour J lui-même, un Colossus II avait été construit. Flowers avait été informé qu'il devait être prêt en juin 1944, sinon il ne serait d'aucune utilité.

Il n'a pas été informé de la raison du délai, mais réalisant qu'il était important, il s'est assuré que la nouvelle version était prête pour le 1er juin, cinq jours avant le jour J.

En fait, il y avait 11 machines à la fin de la guerre, dont toutes sauf une ont été détruites sur les ordres de Churchill, la dernière étant déplacée au GCHQ à Cheltenham où elle est apparemment restée en service jusqu'en 1958 au moins et peut-être dans les années 1960.

Le Colossus original se composait de 1 500 soupapes (le Mark II utilisait 2 400 soupapes) et avait la taille d'une petite pièce, pesant environ une tonne. Conçu comme une machine à déchiffrer le code, et sans mémoire efficace ni programme stocké, ce n'était pas tout à fait ce que l'on considère aujourd'hui comme un ordinateur. Néanmoins, il a précédé d'autres prétendants au titre de premier ordinateur de travail moderne et a été le précurseur des ordinateurs numériques ultérieurs.

Il est maintenant reconnu que sans la contribution de l'activité de décodage, dans laquelle Colossus a joué un rôle majeur, la guerre aurait pu durer beaucoup plus longtemps. C'est dans les préparatifs du jour J que Colossus s'est avéré le plus précieux, car il a pu suivre en détail les communications entre Hitler et ses commandants sur le terrain.

Le succès du système **Strowger** pour répondre aux demandes du réseau - en grande partie grâce aux accords conclus dans le cadre de l'accord d'approvisionnement en vrac d'équipement de central téléphonique (signé en 1923) et du British Telephone Technical Development Committee (créé en 1933) - a conduit à une décision importante. Il y avait eu des progrès rapides dans les techniques électroniques pendant et immédiatement après la Seconde Guerre mondiale, ce qui a conduit la poste et ses fabricants d'équipements de centraux à croire que les centres électroniques pouvaient être développés dans un court laps de temps sans rechercher d'autres systèmes électromécaniques. En conséquence, la décision a maintenant été prise de travailler à un changement progressif du réseau des systèmes Strowger mécaniques aux systèmes électroniques.

L'espoir était que l'étape intermédiaire de l'introduction de systèmes crossbar contrôlés par registre, apparente dans d'autres administrations des télécommunications ailleurs, ne serait pas nécessaire dans le cadre de cette politique.

À partir de 1947, une petite équipe dirigée par **Flowers** a travaillé au développement des principes de base de Highgate Wood : la modulation d'amplitude d'impulsion (PAM), qui encodait les signaux téléphoniques sous forme d'échantillons pulsés, et le multiplexage temporel (TDM), qui transmettait des signaux en cyclant rapidement des échantillons pulsés.

La poursuite par Flowers de la commutation électronique après la Seconde Guerre mondiale a été fortement soutenue par Radley, qui est devenu plus tard ingénieur en chef et directeur général du bureau de poste, et ce soutien peut être attribué à leur histoire à Bletchley Park.

En 1951, un petit prototype d'échange connu sous le nom de **PAM-TDM** avait été construit à Dollis Hill. Reconnaisant les limites de leur travail en laboratoire, le département d'ingénierie a proposé une base de recherche conjointe avec l'industrie pour construire des équipements conçus pour s'adapter au système téléphonique existant. En l'occurrence, le développement de systèmes électroniques s'est avéré plus difficile qu'on ne le pensait à l'origine et, en 1957, l'Automatic Telephone and Electric Company s'est rendu compte que pour maintenir sa position sur le marché d'exportation, elle avait besoin d'un système de barres transversales viable sur le marché. En conséquence, l'entreprise a développé à temps le système Crossbar.

Au début des années 1950, il était évident que l'efficacité du central téléphonique électromécanique avait été développée à un point tel qu'une amélioration radicale des équipements ou des services exigeait un changement radical de technique. Les progrès de l'électronique, en particulier l'avènement du transistor, ont offert de nouvelles techniques de commutation téléphonique et en 1952, un groupe de développement spécial pour étudier l'application de ces techniques est formé le JERA. Le groupe a étudié la commutation **Time Division Multiplex (TDM)** en utilisant le stockage avec des lignes à retard de 100 microsecondes et 1 milliseconde, mais a concentré l'essentiel de son attention sur l'application du contrôle électronique commun.

La motivation du « prestige national » conduira le développement de Highgate Wood face à des problèmes importants, qui avaient suscité des inquiétudes pour le ministre des Postes, Ernest Marples. Depuis la visite de Flowers et Barron en 1947, la Bell Labs avait annoncé le développement de son propre centre entièrement électronique. Les perspectives d'exportation des fabricants britanniques ont également joué un rôle, car les exportations des années 1950 avaient souffert « d'une résurgence de la concurrence nationale et de considérations nationalistes [qui] ont eu tendance à restreindre le marché... La véritable chance pour les fabricants britanniques est de pouvoir proposer des équipements électroniques qui ont une longueur d'avance ». Radley a ainsi défendu le développement de Highgate Wood à Marples à la fois comme une extension du travail de guerre de Dollis Hill et comme une question de « prestige national ».

Mais au milieu des années 1950, la priorité des recherches a été détournée vers la conception et le développement d'**ERNIE** (Electronic Random Number Indicator Equipment) système pour le lancement des obligations à prime. Il s'agissait d'une initiative politique majeure pour encourager l'épargne nationale. Puis les premières recherches en commutation, ont pu reprendre à **Dollis Hill**.

Le Joint Electronic Research Agreement (**JERA**) est finalement signé le 15 mai **1956** entre la Poste et les cinq fabricants d'équipements de commutation : Siemens Edison Swan, Automatic Telephone and Electric Co., Ericsson Telephones, The General Electric Co. et Standard Telephone and Câbles. Ensemble, ils ont créé le Joint Electronic Research Committee (**JERC**) pour coordonner la recherche, partager les connaissances et éviter les duplications inutiles de la recherche.

Bien que le JERC ait été censé être un forum dans lequel différentes méthodes de commutation pourraient être discutées, le bureau de poste a dirigé ses développements. Les fabricants ont été informés que leur premier objectif était de construire un centre entièrement électronique basé sur PAM-TDM conçu à Dollis Hill, pour être installé à Highgate Exchange en 1958.



1935 Station at Dollis Hill

L'une des premières décisions du JERC a été de construire un central électronique utilisant le concept "**Switched Highways**" (autoroutes commutées), techniques de **multiplexage temporel** (TDM ou time-division multiplexing), tout en poursuivant la recherche de solutions alternatives au problème de la commutation temporelle électronique.

Dès **1953**, un petit modèle de système TDM utilisant le stockage de ligne à retard a été construit par ce groupe, mais beaucoup de travail a dû être fait avant qu'un modèle à grande échelle puisse être envisagé. En fait, un tel travail de recherche était nécessaire pour explorer les possibilités des systèmes de commutation électronique dans un délai raisonnable, le groupe, la société et les autres principaux fabricants britanniques d'équipements de commutation ont décidé de coordonner leurs efforts de recherche. Ainsi, en 1956, une unité mixte de recherche et de développement connue sous le nom de Joint Electronic Research Committee (JERC) a été formée.

1955 Les travaux se sont poursuivis dans la Direction de la recherche et en 1955, il y avait un prototype fonctionnant avec cinquante de téléphones des extensions de la Station de recherche et une soixantaine de brevets avaient été déposés.

La tâche technique de construction d'un central expérimental de 600 lignes pour une utilisation sur le terrain s'est avérée plus difficile que prévu, ce qui s'est traduit par le retard dans le programme et la date d'installation. Un autre problème était financier. En septembre 1957, la conception était connue pour être non économique par rapport au centre électromécanique Strowger, à la suite de calculs mis à jour sur les besoins en énergie et le coût de l'électricité

Il a également été décidé que l'équipement expérimental devrait fournir les installations complètes de service et d'entretien d'un central électromécanique comparable.

Le personnel de Dollis Hill avait trois motivations pour travailler à la conception d'un central entièrement électronique. Tommy Flowers avait expérimenté l'utilisation de vannes comme interrupteurs avant la guerre. Son expérience à la tête de l'équipe qui a conçu et construit Colossus a prouvé à Radley et Angwin que la théorie était pratiquement possible. La Poste souhaitait remplacer les centraux téléphoniques électromécaniques automatiques car ils causaient de nombreux problèmes de maintenance. On s'attendait à ce qu'un central électronique soit plus facile à entretenir, moins responsable en cas de faute et élimine le besoin d'ajustements mécaniques qualifiés. Enfin, la Poste a été conscient que d'autres laboratoires téléphoniques à travers le monde exploraient également l'opportunité de remplacer les commutateurs par des tubes électroniques.

En avril 1948, une nouvelle équipe avait été créée à Dollis Hill pour travailler uniquement sur ce projet sous la direction de Flowers.

L'urgence de Highgate Wood en tant que projet de prestige a également engendré des travaux de supplémentaires nécessaires pour répondre aux besoins énergétiques croissants du centre. Le bâtiment existant a dû subir des modifications structurelles et une pièce supplémentaire était nécessaire pour accueillir des batteries supplémentaires. À son tour, cela signifiait qu'une plus grande ventilation était nécessaire : une salle d'au moins 1 600 pieds carrés. Le bâtiment existant n'avait pas d'espace pour une telle pièce, et la poste a donc demandé au ministère des Travaux publics de construire un étage supplémentaire entier sur le bâtiment pour créer de l'espace pour la salle des ventilateurs. Pour justifier cette dépense supplémentaire et presser le ministère des Travaux publics, une lettre de la Poste expliquait que « c'est une question de prestige national pour nous d'être les premiers à installer un tel centre... ce sera d'une valeur inestimable à notre commerce d'exportation pour pouvoir être le premier sur la scène avec ce nouveau développement ».

Les techniques devaient être manifestement capables de desservir les plus grands centres existants. De plus, l'expérimentation devait être menée dans un central de service public et donc totalement interconnecté au réseau public.

Cela signifiait qu'il aurait besoin d'un équipement de conversion pour lui permettre d'interfonctionner avec le système existant et d'utiliser l'appareillage et l'installation de ligne des abonnés existants. Pour ces raisons, le choix de l'installation à **Highgate Wood** avait été justifiée.

Environ 400 000 composants électroniques ont été installés. Une grande partie de l'organe de contrôle aurait pu desservir un central d'environ 7 000 lignes. Le centre utilisait à la fois des valves et des transistors. Il y avait environ 5 000 transistors et 500 valves. Les valves étaient utilisées dans les domaines les plus cruciaux, car les transistors de l'époque n'étaient pas à la hauteur des performances requises.

La partie la plus nouvelle de la conception d'un nouveau central électronique était l'utilisation de la modulation d'amplitude d'impulsion et de multiplexage temporel pour la transmission d'une centaine de conversations sur un canal commun.

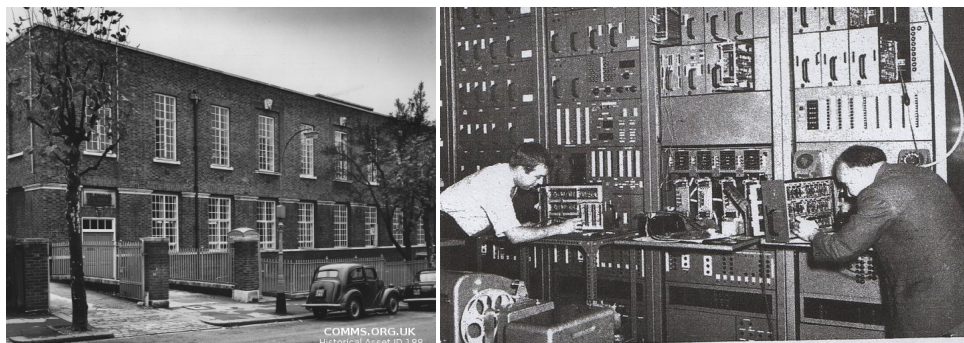
Une autre caractéristique intéressante de l'installation était l'utilisation du temps partagé dans l'établissement des appels et dans leur contrôle.

À l'époque dans les centres Strowger les rangées de sélecteurs étaient interconnectées au moyen d'un système de jonction complexe dicté par la méthode d'établissement des appels et par la nécessité d'économiser le nombre total de points de commutation. La jonction du système Switched Highways était simple car chaque commutateur pouvait transporter une centaine de conversations simultanées, les lignes étaient concentrées en grands groupes avant d'être connectées aux commutateurs; et les appels étaient établis par un appareil de contrôle commun fonctionnant assez rapidement pour traiter les appels.

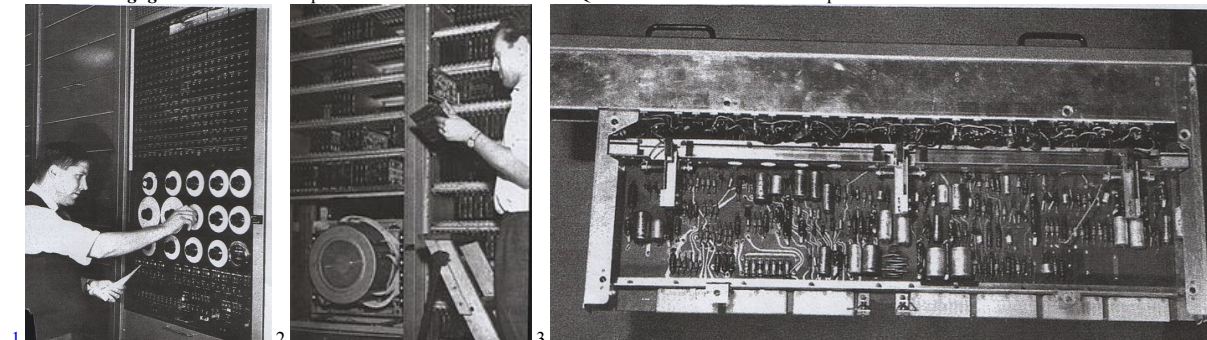
En **1959** le premier centre modèle électronique est ouvert à **Dollis Hill** utilisant une combinaison de transistors et de circuits à lampes à gaz, triode ou "vannes",

Les suggestions selon lesquelles le projet devrait être reporté par certains cadres supérieurs de la poste ont été défendues par le contrôleur de la recherche, Lionel Harris, citant le prestige national et le risque de concurrence internationale.

En **1962** Suivi l'ouverture du centre de **Highgate Wood** à Londres avec 800 lignes. annoncé par la poste et les fabricants comme un triomphe britannique.



Le centre de Highgate Wood 1962 . Exploitation du centre : Monsieur A. Quartermaine TO à la routine supervision. À droite M. T. Berwick AE



1- Tambour magnétique. 2 -Le rack logique de batterie (batterie en bas à gauche) 3- Mémoire de ligne à retard de 100 microsecondes

Dans la jonction de Highgate Wood, le système, les lignes (abonnés) et les jonctions étaient disposées en groupes, la taille de chaque groupe dépendant du trafic. Il y avait jusqu'à 800 lignes dans un groupe. Chaque groupe était connecté à une "autoroute" sur laquelle 100 conversations multiplexées pouvaient être transportées, chaque conversation utilisant un intervalle de temps ou un temps de canal d'une microseconde à une fréquence de répétition de 10 kHz. Les «autoroutes» étaient entièrement interconnectées par des commutateurs ou des portes électroniques et des portes reliaient également les «autoroutes» au contrôle commun. Chaque ligne du système électronique était munie de portes, qui lui permettaient d'être reliée à son "autoroute".

L'organe de contrôle commun du système était divisé en deux parties. La première était l'équipement pour stocker et traiter les informations relatives à l'établissement et au déroulement des appels (les mémoires utilisées dans cette partie de l'équipement étaient des lignes à retard à magnétostriction de 900 microsecondes). La seconde était la mémoire permanente contenant les traducteurs et ainsi de suite, qui utilisait le magasin à tambour magnétique. De plus, divers services, tels que le générateur de formes d'onde et le générateur "d'impulsions d'horloge" utilisés pour chronométrer le système, ont été fournis.

Au cours d'un appel, l'appareil d'établissement connectait d'abord l'appelant à un équipement d'enregistrement et reliait ensuite l'appelant à son correspondant par l'intermédiaire du commutateur "autoroute", un sélecteur de canal choisissant un canal libre adapté à l'appel, c'est-à-dire, un disponible pour les deux abonnés.

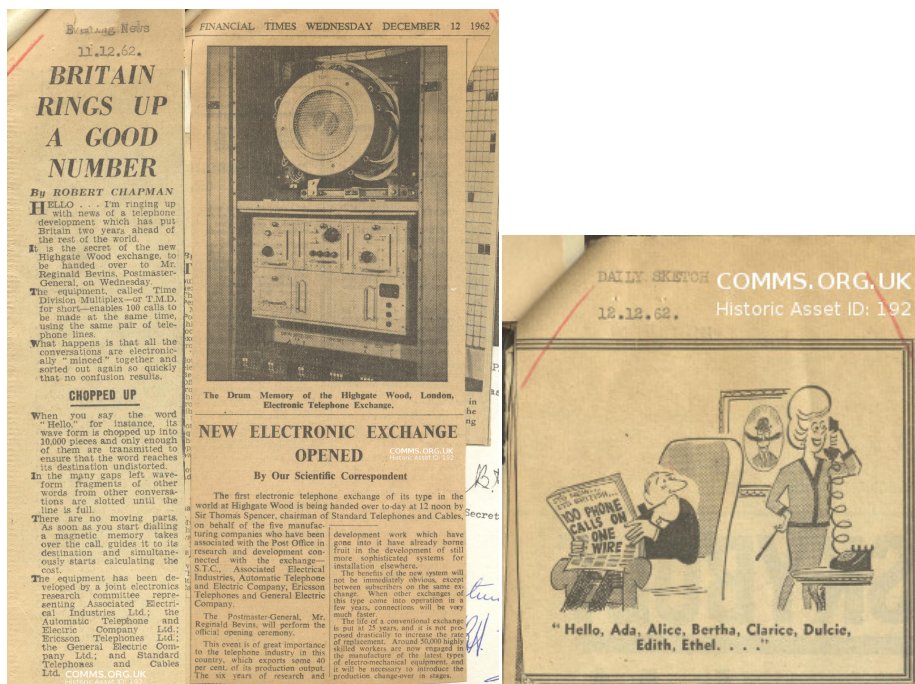
L'équipement de registre recevait les chiffres composés et pouvait traiter et stocker 100 numéros à neuf chiffres. Cette capacité n'a pas été pleinement exploitée à Highgate Wood, bien que le registre et la plupart des équipements de contrôle soient potentiellement capables de gérer le trafic d'un grand central métropolitain.

La première tâche du contrôle électronique était de détecter l'arrivée d'un nouvel appel. A cet effet, la terminaison de ligne de chaque abonné était examinée pendant une période de 280 microsecondes toutes les 224 millisecondes, un processus connu sous le nom de balayage. Les jonctions ont été scannées à huit fois ce taux. Le balayage était effectué par un tambour magnétique, dont chaque piste était divisée en 100 sections ou mots, un pour chaque ligne. Des voies parallèles ont été utilisées pour chaque tranche de 100 lignes, une voie fournissant les informations permanentes (IDF) (c'est-à-dire le numéro d'annuaire et la classe de service), une autre voie donnant une information semi-permanente (c'est-à-dire si la ligne était déjà occupée ou autre). Étant donné que les pistes sont commutées en séquence, les informations relatives à chaque ligne peuvent être lues séquentiellement lorsque le tambour tourne, la position angulaire du mot ainsi que le numéro de piste définissant la position de l'équipement, c'est-à-dire le numéro d'appareil de ligne de la ligne balayée. Les groupes de 800 lignes (jonctions et abonnés) à Highgate Wood ont été divisés en huit sous-groupes, un sous-groupe pour chaque piste du tambour. Pour éviter l'utilisation d'une mémoire de ligne à retard séparée pour chaque terminaison de ligne, il était pratique d'utiliser, dans chaque groupe de 800 lignes, trois ensembles de cinq mémoires codées pour correspondre à la désignation ZXY de la ligne. Lorsque le tambour tournait, il générait des formes d'onde correspondant au code ZXY de la ligne dont les informations étaient disponibles à ce moment-là. Ces formes d'onde indiquaient les lignes à retard appropriées et si un appel devait être établi, une impulsion sélectionnée était injectée dans les lignes à retard sélectionnées, ce qui les faisait ouvrir les portes de ligne à plusieurs reprises au temps d'impulsion sélectionné, l'impulsion continuant à circuler jusqu'à ce que la connexion soit établie. effacé.

Le centre de **Highgate Wood** avait déjà transporté du trafic public à titre expérimental pendant de brèves périodes au cours des semaines précédentes. Il a également annoncé ce jour-là la construction de trois centres électroniques plus avancés qui seront installés et opérationnels au cours des deux prochaines années à **Goring-on-Thames**. (canal TDM 100 à haut débit), **Pembury** (canal TDM 30 à bas débit) et à **Leighton Buzzard**. Le seul achevé est le TXE 1 à Leighton Buzzard, les deux autres étant rapidement abandonnés.

Chacun des trois nouveaux centraux, qui devaient tous fonctionner de manière totalement autonome, sans central de secours comme c'était le cas à Highgate Wood, devait être conçu pour tester les conditions de service réelles.principe de la modulation d'amplitude d'impulsion (TDM) par répartition dans le temps , et le troisième, à Leighton Buzzard, sur la commutation par répartition dans l'espace.

Tous les trois devaient être entièrement transistorisés afin qu'ils soient plus compacts que Highgate Wood et auraient eu besoin de moins de puissance. Ils devaient également montrer une amélioration significative de la fiabilité qui avait été un problème à Highgate Wood. Le modèle de Highgate Wood avait fonctionné "de manière raisonnablement satisfaisante" en laboratoire mais la transmission analogique était trop bruyante sur les longs câbles dans un échange réel. On pensait que le problème venait des dispositifs de mise à la terre.



Mais à peine le centre avait-il été lancé que des problèmes techniques signifiaient que le central avait cessé de gérer le trafic en direct après quelques mois et a été utilisé à la place comme site expérimental, pour tester le trafic artificiel. Les problèmes comprenaient la consommation d'énergie élevée, les coûts des composants (pour lesquels 3 000 vannes, 150 000 diodes et 26 000 transistors étaient nécessaires) et l'incompatibilité avec le réseau existant. Alors que Radley avait justifié la construction d'un central entièrement électronique comme étant un moyen d'améliorer la position en gardant une longueur d'avance sur ses concurrents, le projet s'est avéré trop ambitieux. La décision de se concentrer sur une méthode de commutation électronique a eu l'effet inverse, les autres entreprises britanniques prenant du retard sur les développements internationaux. Sans plan d'urgence, la Poste a fini par acheter des centres crossbar tout en poursuivant ses recherches sur d'autres échanges électroniques. N'ayant pas été conçus avec la poste à l'esprit, les échanges crossbar n'étaient pas parfaitement adaptés au système britannique. En se concentrant sur un projet ambitieux, la poste avait limité ses options et forcé l'achat d'équipements génériques, manquant des fonctionnalités que le département jugeait souhaitables.

Malgré la reconnaissance antérieure par l'ingénieur en chef et son adjoint que Highgate Wood était un centre expérimental non rentable, le bureau de poste a toujours invoqué une relation entre le prestige de la recherche et les perspectives d'exportation. Le prestige signifiait différentes choses pour ces différents groupes : pour la RAS, cela signifiait la réputation de la science britannique, la flexibilité interprétative du prestige signifiait qu'en l'invoquant, on disposait d'un terme qui pouvait rassembler différents groupes, même pour des raisons différentes. Pour Highgate Wood, le « prestige » affichait cette flexibilité dans la coordination de différents groupes avec différents objectifs : pour Flowers, le « prestige » signifiait la reconnaissance de son travail sur Colossus ; pour le département d'ingénierie, cela signifiait une reconnaissance internationale ; et pour le ministre des Postes et d'autres ministères, cela signifiait augmenter les perspectives d'exportation.

Les problèmes de Highgate Wood ont retardé considérablement le projet. Le centre est entré en service en 1962, avec quatre ans de retard, et a été un échec lamentable. Son taux de défaillance des composants était assez faible, mais Roy Harris a répertorié comment le système a subi plusieurs défauts insolubles. Il transportait progressivement moins de trafic au fil du temps, car les impulsions n'étaient pas toujours effacées des mémoires de connexion après les appels, et les canaux continuaient donc à paraître occupés. La les lignes des abonnés étaient pulsées cinq fois par seconde, tandis que les jonctions étaient pulsées quarante fois par seconde provoquant des interférences.

En 1963, les recherches sur les échanges PAM/TDM sont ainsi abandonnées : économiquement, le matériel nécessaire est trop cher, alors que techniquement, il est clair que le PAM continuera à produire des interférences et des incompatibilités entre différentes fréquences pulsées. Flowers a démissionné en 1964. Highgate Wood, cependant, est resté ouvert. Le prestige national signifiait qu'il ne pouvait pas être simplement fermé « Highgate Wood a une valeur de prestige... ce sera le seul échange électronique vraiment connecté au système public en Grande-Bretagne... et a été une caractéristique importante des visites . Des préparatifs sont en cours pour une visite de journalistes techniques continentaux en mars [1964] ». Le Highgate Wood expérimental, déconnecté du réseau téléphonique, reste ainsi en place comme symbole du prestige britannique. Il a finalement été supprimé en 1965 .

La commutation à semi-conducteurs devrait attendre encore quelques années pour les systèmes numériques, tandis que la recherche immédiate est passée à la commutation basée sur un **relais Reed** avec contrôle à semi-conducteurs que vous pourriez considérer comme la solution intermédiaire entre les systèmes électromécaniques et électroniques. Après cet échec coûteux, les Britanniques sont restés en dehors du domaine de la commutation électronique pendant les vingt années suivantes.

Il faudra attendre 1965 pour que des installations d'essai d'équipements électroniques de centraux téléphoniques d'une capacité allant jusqu'à 200 lignes téléphoniques soient mises en service à Leamington Spa le 25 mars et à Peterborough le 10 juin. Pourtant en 1966 le premier central téléphonique électronique de production entièrement opérationnel en Europe (le premier de petite à moyenne taille au monde) a été ouvert à Ambergate, Derbyshire. Il s'agissait d'un échange de relais Reed TXE2.

L'approche de la division de commutation spatiale, utilisant des **relais à lames pour la commutation**, s'est révélée plus prometteuse et le développement a été concentré dans ce domaine, conduisant finalement au succès du **TXE2** et plus tard du **TXE4**.

3 - En France

En 1947 Maurice Deloraine, alors directeur technique du groupe ITT, avait déposé le premier brevet de commutateur numérique à répartition temporelle et soutenu une thèse de Docteur-Ingénieur à Paris sur ce thème.

Puis au sein du **LCT**, en 1948-50 **Pierre Aigrain** (secrétaire d'État chargé de la recherche sous la présidence de Valéry Giscard d'Estaing) vérifie la faisabilité d'une commutation analogique à **répartition temporelle** avec modulation PAM (Pulse amplitude modulation) et enfin en **1958** le brevet **E. Touraton - J-P. Le Corre**, ingénieurs au LCT, complète celui de M. Deloraine.

1947, il a été fait un exposé sur la commutation électronique temporelle devant la Société française des radio-électriciens.

Contrairement à la commutation spatiale qui oriente les signaux téléphoniques tels qu'ils lui sont transmis à partir du microphone de l'appareil d'un utilisateur, la commutation temporelle ne les aiguille qu'après les avoir échantillonnés dans le temps et transformés en combinaisons numériques selon le principe de la modulation par impulsions codées (MIC). Cette transformation en numérique permet d'utiliser un réseau de connexion intégralement électronique et contourne donc les difficultés que rencontre la commutation électronique spatiale à trouver un point de connexion réellement satisfaisant.

Malgré cet avantage, la complexité technique, et donc le coût élevé de l'opération, enlèvent apparemment toute chance à la commutation temporelle, du moins au début des années 1960. Mais celle-ci peut retrouver un intérêt fondamental dans la mesure où elle est transparente à ce système de modulation par impulsions codées qui retient depuis longtemps déjà l'intérêt des spécialistes de la transmission.

Début 1954 Il n'y a pas de grand central entièrement électronique en service. Les constructions connues sont des centraux automatiques avec un petit nombre de lignes.

- Un central automatique multiplex **spatial** de 100 lignes et 16 jonctions a été construit au **LCT** Laboratoire Central de Télécommunications décrit un peu plus bas dans la page.

Des diodes de contact ponctuel au germanium ont été utilisées comme points de commutation et des tubes à gaz comme mémoires.

- En 1953 et 1955 au Royaume Unis (voir plus haut) un centre automatique de Dollis Hill **temporelles** utilisant divers composants - tubes à vide, tubes à gaz et diodes au germanium.

- Un autocommutateur **spatial** à 10 lignes à 3 jonctions a été construit dans les laboratoires **Philips** et décrit en 1954 par W. Six. Le point de contact était le tube à gaz. Cet équipement a fonctionné pendant plusieurs années dans les laboratoires de Philips.

En 1956 le **LCT** a réalisé un central automatique (Français) entièrement électronique de 20 lignes pour la marine française. (article ci dessous).

Après un travail de développement ayant duré 10 ans, le Laboratoire central de télécommunications (LCT) à Paris, une maison associée de la Standard Téléphone & Radio SA à Zurich, a présenté aux intéressés le premier autocommutateur téléphonique entièrement électronique. Il s'agit d'une installation automatique à 20 lignes destinée à la marine de guerre de la République française. Le service téléphonique est très dur sur un navire de guerre, le matériel étant soumis à des chocs violents et subissant des températures élevées; il exige donc une installation apte à résister à toutes les influences extérieures. Les automates domestiques courants à éléments de commutation électro-mécaniques (relais, chercheurs), dont les contacts mécaniques sont sujets à être souillés, ne répondent pas à des exigences aussi sévères, si bien que jusqu'à maintenant les liaisons téléphoniques internes des navires de guerre se faisaient manuellement. La marine de guerre américaine s'intéresse également aux techniques électroniques pour la commutation automatique. Des travaux semblables sont actuellement entrepris aux Etats-Unis, reposant sur l'utilisation des transistors. La solution du LCT est assez différente en ce sens qu'elle n'utilise pas de transistors, mais des diodes au silicium et des inductances à noyau saturable. Le but recherché par le LCT était de ne faire appel qu'à des matériaux de base simples et dont la robustesse et le comportement aux influences sont bien connus.

Central téléphonique entièrement électronique à 20 lignes Par CLAUDE DUMOUSSEAU **LCT** Paris,

Voir : Communication électrique, tome 34 pages 92-101 ; juin 1957.

L'INTRODUCTION de l'électronique dans un domaine aussi vaste que la commutation téléphonique présente de nombreux aspects souvent contradictoires.

Un équipement ne peut donc être construit que sur la base d'une série de compromis impliquant des éléments tels que le temps de réalisation, le coût de la recherche, le coût de fabrication, la fiabilité, la possibilité de faire des extensions ultérieurement, diverses caractéristiques de fonctionnement, etc.

Cet article décrit un **central téléphonique entièrement électronique** répondant aux exigences de la Marine Nationale en mettant l'accent sur un seul de ces facteurs ; celui de la fiabilité.

C'est un choix naturel, étant l'exigence essentielle qui n'est pas suffisamment présente dans les systèmes électromécaniques pour permettre leur utilisation dans cet environnement sévère.

Il est évident qu'une conception basée sur des exigences navales spéciales peut ne pas convenir à une utilisation commerciale régulière. Par conséquent, il n'est pas question de résoudre tout le problème de la commutation électronique.

On espère cependant qu'il constituera l'une des pierres angulaires de la structure complexe du central électronique du futur.

Quelles ont été les considérations qui ont dicté la construction de cet équipement, comment se compare-t-il aux autres solutions possibles actuellement, et comment va-t-il évoluer dans l'immédiat ? Ces trois questions sont examinées dans cet article.

1. Choix des composants et diagramme

L'objectif de fiabilité était particulièrement difficile à atteindre compte tenu des conditions dans lesquelles les équipements devaient fonctionner. C'est pour cette raison que l'on n'a utilisé que les composants qui avaient fait leurs preuves pendant de nombreuses années et que l'on a adopté le schéma d'ensemble le plus simple et le plus conventionnel possible.

Parmi les différents types de commutation électronique analysés par Goudet, la commutation spatiale, qui n'implique que des transmissions à basse fréquence, a été retenue.

1.1 ÉLÉMENT DE CONTACT AU CHOIX

Notre équipement commute donc directement les fréquences vocales comme dans les équipements de commutation électromécaniques habituels. Dans ce dernier, l'élément essentiel est le contact. Comme le mot "contact" véhicule une idée de mouvement, il a été remplacé dans le langage électronique par le mot "porte", qui est couramment utilisé en relation avec les ordinateurs numériques.

On pourrait penser qu'un élément aussi connu serait facile à obtenir. En fait, ce n'est pas le cas, car la qualité des portes qui doivent être utilisées dans la commutation téléphonique est bien supérieure à celles généralement utilisées pour les machines à calculer. En téléphonie, une porte doit avoir aux fréquences vocales un rapport d'impédance entre blocage et conduction de l'ordre de 105• A l'état passant, l'atténuation ne doit pas dépasser une fraction de décibel et à l'état bloquant la diaphonie résultant de l'ouverture de la porte incomplètement bloquée doit à l'état passant, l'atténuation ne doit pas dépasser une fraction de décibel et à l'état bloquant la diaphonie résultant d'un blocage incomplet de la grille doit être inaudible ; c'est-à-dire de l'ordre de - 80 décibels par rapport au niveau moyen de conversation.

Généralement avec les ordinateurs numériques, il s'agit de savoir si un signal passe ou non, et un rapport d'impédance de grille de 102 est donc tout à fait suffisant. Il est clair que les portes utilisées dans les machines à calculer ne seraient pas adaptées à la commutation téléphonique.

Divers dispositifs à semi-conducteurs sont largement utilisés comme portes dans les machines à calculer.

La plupart d'entre eux sont utilisés depuis plusieurs années en nombre suffisant et avec assez peu d'échecs pour ne laisser aucun doute sur leur fiabilité.

Parmi celles-ci, la diode à jonction silicium est particulièrement remarquable pour trois raisons.

A. Son rapport d'impédance entre blocage et conduction est considérable : en conduction, la diode au silicium possède une impédance quasi de 4 ohms, alors qu'en condition de blocage, son impédance correspond à 1 000 mégohms en parallèle avec un condensateur de 5 picofarads .

B. De structure simple, il est adaptable à la production en série, fiable en fonctionnement et particulièrement robuste mécaniquement.

C. Parmi les semi-conducteurs couramment utilisés, le silicium a la meilleure stabilité thermique. Utilisé comme porte dans la bande des fréquences vocales, ses caractéristiques ne changent pas sensiblement entre - 40 et + 120 degrés centigrades (- 40 et + 248 degrés fahrenheit).

Pour ces raisons, la diode à jonction silicium a été choisie comme élément de base de l'échange automatique.

Il est fabriqué en alliant un fragment de cristal de silicium avec un fil d'aluminium. A la suite d'une étude spéciale entreprise à cet effet, cette diode peut maintenant être fabriquée de manière à ce qu'elle ait les caractéristiques les mieux adaptées à la commutation téléphonique.

La figure 1 montre la caractéristique statique d'une telle diode. Les deux points de fonctionnement correspondent à - 5 volts pour le blocage et + 10 milliampères pour l'état conducteur.

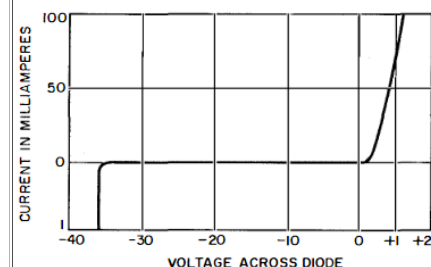


Figure 1—Current-voltage characteristic of silicon junction diode designed for telephone switching. Note change of scale for reverse current and voltage.

1.2 CHOIX DE LA COMMUTATION -PRINCIPE

Il est pratique d'utiliser la représentation "crossbar" pour discuter des schémas de commutation quel que soit le système considéré. Un sélecteur crossbar électronique se compose essentiellement de 2 réseaux de fils : un réseau horizontal de n fils et un réseau vertical de p fils comme le montre la figure 2 .

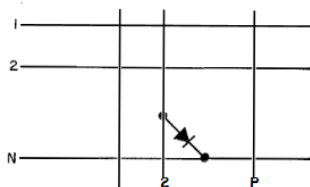


Figure 2 - Disposition de barres transversales élémentaires composée de deux réseaux de fils avec une grille à chaque point de croisement

Chacun des $n \times p$ points de croisement de ces deux réseaux est marqué par une porte.

La façon la plus simple de construire cette porte est de connecter une diode à chaque croisement aux fils verticaux et horizontaux à ce point.

Pour commander l'ouverture et la fermeture de cette porte, il suffit d'appliquer une tension continue entre les fils verticaux et horizontaux reliés à la diode. Selon le signe de cette tension, la grille serait ouverte ou fermée.

Malheureusement, avec cette méthode les deux grilles de coordonnées $X1 Y1$ et $X2 Y2$ ne peuvent pas être rendues conductrices simultanément sans que deux autres grilles de coordonnées $X1 Y2$ et $X2 Y1$ soient également rendues conductrices ; ceci a pour conséquence de substituer à deux liaisons distinctes, chacune entre deux abonnés, une liaison commune entre quatre personnes.

Il serait nécessaire dans un système pratique d'en fournir un sélecteur crossbar pour chaque conversation, ce qui n'est pas économique. Il y a deux façons de surmonter cette difficulté.

La première consiste à séparer les fonctions de création et de maintien d'une connexion.

Le marquage des portillons à travers les fils du sélecteur crossbar doit se faire avec une impulsion courte et ce marquage doit être maintenu par la suite par les portillons eux-mêmes. Ces portes.

possèdent alors une fonction de mémoire.

De telles portes peuvent être constituées d'éléments simples comme des tubes à gaz et certains semi-conducteurs à 4 jonctions comme des diodes n-p-n-p, ou plus complexes

De telles portes peuvent être constituées d'éléments simples comme des tubes à gaz et certains semi-conducteurs à 4 jonctions comme des diodes n-p-n-p, ou des bascules plus complexes composées d'assemblages de diodes, de transistors, de matériaux magnétiques, etc. Malheureusement, la diode au silicium ne peut pas être utilisée comme grille dans ce procédé car elle ne possède pas de mémoire.

La deuxième méthode, qui permet plusieurs conversations simultanées à travers le même sélecteur, consiste à abandonner le marquage par les fils du sélecteur au profit d'une commande directe des portes au moyen d'un dispositif auxiliaire qui maintient ce marquage.

Une bascule peut être connectée à chaque porte ou un réseau complexe peut connecter un certain nombre de points mémoire aux portes passant à tout moment.

Lorsqu'une mémoire est connectée uniquement aux portes, une économie appréciable peut être réalisée sur le nombre de mémoires points.

Cependant, cette solution perd beaucoup de son intérêt par la complexité du réseau.

Pour un petit équipement, il est probablement plus avantageux d'avoir une mémoire, telle qu'une bascule, connectée en permanence à chaque porte. C'est la solution retenue dans ce cas.

Le problème de la connexion permanente d'une bascule à chaque porte peut être examiné indépendamment du reste du sélecteur.

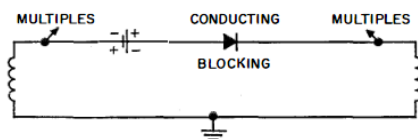


Figure 3 - Diode et batterie de polarisation connectées entre les enroulements de deux transformateurs pour agir comme un interrupteur ouvert ou fermé en fonction de la polarité de la batterie.

Dans la figure 3, considérons le fonctionnement élémentaire d'une porte à diode unique entre deux enroulements de transformateur utilisés comme entrée et sortie pour des signaux à courant alternatif. L'élément de contrôle équivaut à une pile ; dont la polarité peut être inversée.

La batterie n'a besoin que d'une faible impédance interne, ce qui est facilement obtenu en la shuntant avec un condensateur. Lorsqu'il est connecté du côté diode des enroulements du transformateur, il a l'avantage de permettre la multiplication des deux enroulements des transformateurs et limite le nombre de transformateurs au nombre de fils dans le sélecteur crossbar, soit $n + p$.

Cependant, une batterie placée dans cette position ne doit pas faire fuir trop de signal vers la masse ou vers les circuits adjacents au risque de provoquer des pertes et de la diaphonie.

Alternativement, la batterie peut être placée du côté terre par rapport aux enroulements du transformateur, comme illustré à la figure 4.

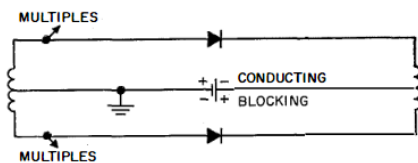


Figure 4 - Disposition adoptée utilisant une source de polarisation dans le fil de terre et 2 diodes pour maintenir les courants vocaux hors du circuit de polarisation.

La multiplication peut alors s'effectuer d'un seul côté, de sorte qu'il doit y avoir de l'autre autant d'enroulements de transformateur que de points de croisement.

Le nombre total d'enroulements est alors $n + np$ ou $p + np$. Cependant, la batterie est particulièrement facile à utiliser. De plus, la transmission 2 fils.

Le circuit peut être équilibré en utilisant une deuxième diode.

Comme aucun courant alternatif ne traverse la batterie, elle peut avoir n'importe quelle impédance. Cette disposition a été choisie en raison de la facilité avec laquelle elle peut être utilisée.

Les principes sur lesquels repose la conception du circuit de commutation peuvent être résumés comme suit :

- Commutation spatiale, qui ne nécessite qu'une transmission de fréquence vocale.
- Marquage de chaque porte aux croisements par des bascules auxiliaires.
- Circuits de transmission équilibrés.
- Connexion en série des bascules de commande de grille entre les prises centrales des transformateurs.

2. Description du central automatique

L'agencement global est celui d'un seul équipement crossbar à étage de sélection permettant 4 conversations simultanées.

Cet échangeur dessert 20 lignes d'abonnés. Il peut y avoir 2 appels simultanés en cours d'établissement.

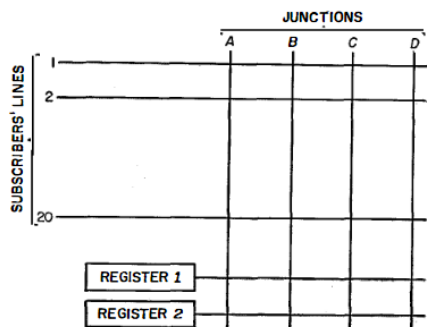


Figure 5—Simplified diagram of exchange.

Dans le schéma simplifié représenté sur la figure 5, les lignes horizontales représentent 20 lignes d'abonnés et 2 registres, et les lignes verticales désignent 4 circuits de connexion que l'on appellera "jonctions".

Ainsi, une communication entre les lignes d'abonnés 2 et 20 peut être établie par le chemin CD 2-A-20, ou si la jonction A est déjà occupée par une autre conversation, par un chemin CD alternatif à travers n'importe quelle jonction libre.

La figure 6 montre l'une des jonctions connectées aux 20 lignes d'abonnés et à 2 registres.

Cette jonction est constituée d'un noyau magnétique commun à 22 enroulements de transformateur reliés aux lignes et registres par des circuits 2 fils par l'intermédiaire de 22 portes électroniques composées chacune de 2 diodes au silicium.

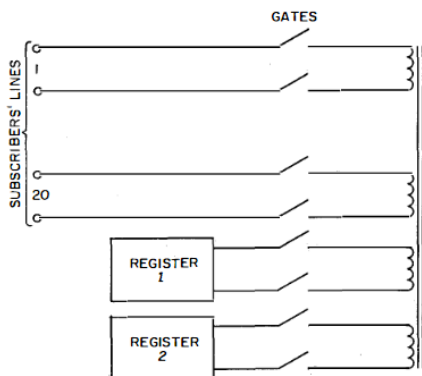


Figure 6 - Circuit magnétique utilisé comme jonction connectée à 20 lignes d'abonnés et 2 registres.

Comme on le verra sur la figure 7, les diodes sont insérées entre les enroulements des transformateurs de ligne et de jonction. Une batterie à polarisation fixe et le circuit de commande sont connectés en série entre les prises centrales des transformateurs.

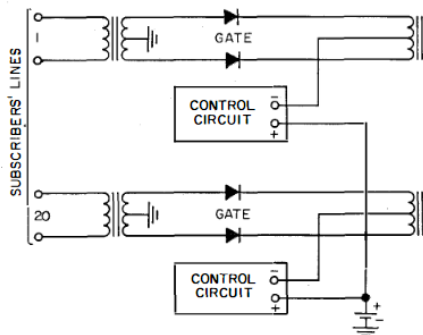


Figure 7 - Méthode par laquelle des circuits de commande individuels peuvent rendre conductrice la porte d'une ligne d'abonné en inversant la polarité et en dépassant la tension fournie par une batterie commune qui maintient normalement les diodes en état de blocage.

Lorsque le circuit de commande ne fournit pas de tension, la porte est normalement bloquée. Lorsque le circuit de commande fonctionne, il fournit une tension qui compense la batterie de polarisation et inverse le signe de la tension appliquée aux diodes. Ce sont alors la conduite et le sous la ligne du traceur a accès au noyau magnétique qui constitue la jonction.

2.1 CIRCUIT FERRORESONANT

Lors de la conception du circuit de commande connecté à chaque porte, la fiabilité a continué de recevoir la première considération.

Seuls des composants qui avaient fait leurs preuves au fil des ans ont été utilisés et ils fonctionnent bien en dessous de leurs cotes. Ces exigences étaient satisfaites par un circuit ferromagnétique ou bascule magnétique qui est représenté sous une forme simplifiée sur la figure 8.

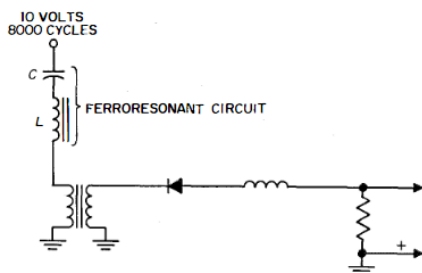


Figure 8-Un condensateur en série avec une inductance, dont le noyau peut être saturé magnétiquement, fonctionne à 8000 cycles en tant que circuit ferromagnétique ou bascule magnétique.

Il possède deux conditions stables bien distinctes, l'une avec un courant faible et l'autre avec un courant élevé.

Dans la condition de courant faible, il peut être considéré comme inopérant et n'interfère pas avec l'action de la batterie de polarisation en bloquant les diodes. Dans l'état de courant élevé, il produit une tension supérieure et de polarité opposée à la tension de polarisation pour la surmonter et rendre les diodes conductrices.

Sur la figure 8, la capacité C et l'inductance L en série et alimentées par une tension alternative à une fréquence de 8 kilocycles par seconde.

il produit une tension supérieure et de polarité opposée à la tension de polarisation pour la surmonter et rendre les diodes conductrices

Sur la figure 8, la capacité C et l'inductance L sont en série et alimentées par une tension alternative à une fréquence de 8 kilocycles par seconde.

Ce circuit est bien connu en radio. Lorsque l'on fait varier la fréquence, cela donne lieu au phénomène non connu sous le nom de résonance série. Cependant, la résonance série n'est pas impliquée dans cette conception. Le circuit fonctionne à une fréquence fixe qui n'est pas la fréquence de résonance. Ses performances sont basées sur la saturation magnétique qui se produit dans

le noyau de l'inductance lorsque le courant augmente.

Sur la figure 9, la tension E_L aux bornes de l'inductance augmente d'abord proportionnellement à l'amplitude du courant. Pour les valeurs de courant plus élevées, l'effet de saturation devient évident et E_L augmente beaucoup moins vite, la courbe étant infléchiée. La tension E_e aux bornes du condensateur augmente proportionnellement au courant. E_e est représenté en négatif sur le graphique pour exprimer le fait que les deux tensions sont déphasées l'une par rapport à l'autre.

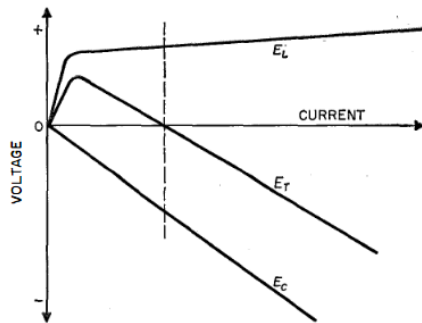


Figure 9-Les tensions apparaissant aux bornes du condensateur E_e et de l'inductance E_L en fonction du courant qui les traverse sont représentées avec la tension totale E_r aux bornes des deux.

La tension totale E_T aux bornes de l'inductance et du condensateur en série est additionnée algébriquement et les valeurs absolues sont tracées sur la figure 10.

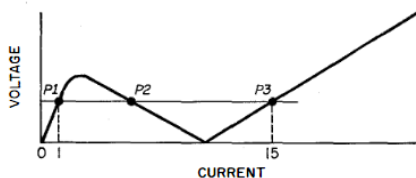


Figure 10 - Les valeurs absolues des sommes algébriques de E_e et E_L sont tracées ci-dessus.

Il ressort de la figure 10 que, sur une certaine plage, une tension alternative donnée appliquée aux bornes de l'ensemble du circuit produira un courant pouvant avoir trois valeurs distinctes correspondant aux points P1, P2 et P3.

Le point P2 est une condition instable. Seuls P1 et P3 représentent des points de fonctionnement stables. Le courant traversant le primaire d'un transformateur de couplage induit une tension dans le secondaire qui est redressée pour produire une tension de sortie pouvant prendre deux valeurs bien distinctes et de même signe.

Lorsque le circuit est mis en service en appliquant la tension alternative, le système assume une condition de courant faible.

Pour le faire passer à un état de courant élevé, il suffit de saturer momentanément le noyau magnétique au moyen d'un courant traversant un enroulement auxiliaire. Un retour à l'état d'origine peut être obtenu en coupant momentanément la tension d'alimentation.

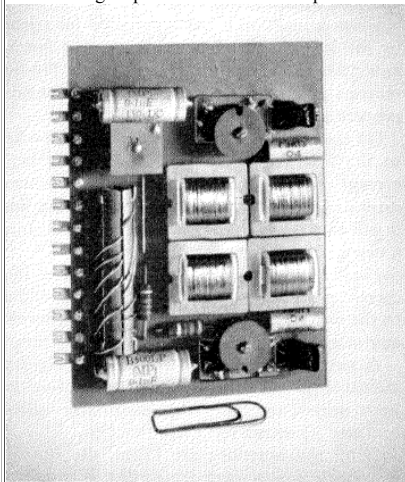


Figure 11—Front of flip-flop panel.

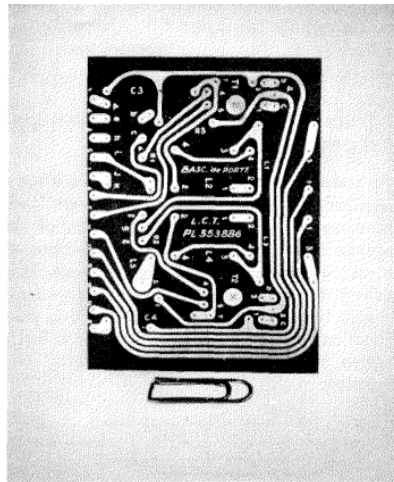


Figure 12—Rear of flip-flop panel.

La figure 11 montre un petit panneau sur lequel une de ces bascules magnétiques est montée. Les connexions du circuit imprimé sont en face arrière comme illustré à la figure 12.

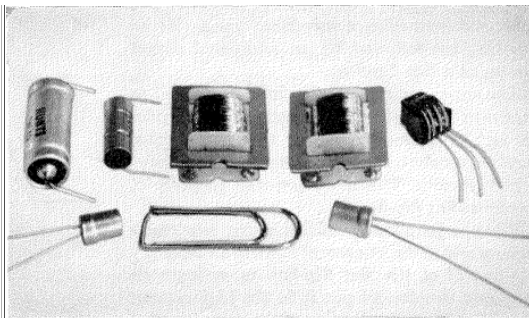


Figure 13—Components of a flip-flop circuit.

Sur la figure 13 se trouvent les principaux composants constitués de condensateurs, d'inductances, de redresseurs au sélénium et de diodes au silicium. Maintenant que les principaux circuits ont été décrits, on peut considérer le mécanisme par lequel une connexion est établie dans le central automatique.

En référence à nouveau à la figure 5, lorsqu'un abonné décroche le combiné, un signal est produit qui modifie l'état de la bascule magnétique à l'intersection de la ligne d'appel et de l'une des jonctions disponibles, en supposant qu'il y en ait une.

Les deux diodes qui lui sont reliées dont l'une est reliée au moyen d'un fil de ligne deviennent alors conductrices et la ligne de l'abonné est ainsi reliée à une jonction. Ce dernier est relié à un registre, également constitué de bascules magnétiques, et le numéro composé est stocké dans le registre. Après cela, un réseau de redresseurs appelé matrice de décodage entre en jeu. Pour chaque numéro enregistré, il fait apparaître un signal sur le fil attribué à ce numéro.

Ce signal provoque un changement d'état de la bascule magnétique placée à l'intersection de la jonction sélectionnée et de la ligne appelée. Une fois la connexion établie, le registre se libère pour pouvoir traiter de nouveaux appels.

2.2 CIRCUIT DE FONCTIONNEMENT VERS LA LIGNE DE L'ABONNÉ APPELANT

Comme indiqué au paragraphe précédent, lorsqu'un abonné décroche le récepteur, un signal est produit qui provoque un changement de l'état de la bascule magnétique placée à l'intersection de la ligne appelante avec l'une des jonctions. Il est exigé qu'un seul carrefour soit saisi par une ligne à la fois et qu'une ligne ne puisse saisir un carrefour déjà occupé. Un dispositif appelé répartiteur de jonction assure ces deux conditions.

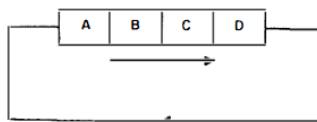


Figure 14—Junction distributor.

Comme le montre la figure 14, un distributeur de jonction est constitué essentiellement d'un compteur à 4 positions fermé sur lui-même qui peut tourner et s'arrêter sur la première jonction libre qu'il rencontre. Ce compteur est également composé de bascules magnétiques. Son rôle est de préparer la jonction pour qu'elle soit prête à être saisie par la prochaine ligne appelante.

A cet effet, la porte bascule entre les jonctions et les lignes d'abonnés, 20 en nombre, sont suivies d'un circuit supplémentaire appelé bascule de repos.

L'ensemble du groupe de 21 bascules est alimenté comme le montre la figure 15 avec un courant à 8000 cycles à travers un condensateur commun qui a une valeur de sorte qu'une seule bascule à la fois peut avoir un courant élevé. C'est une propriété essentielle des bascules ferromagnétiques.

Lorsqu'une jonction n'est ni saisie ni prête à être saisie, un courant continu circule dans un enroulement auxiliaire E de la bascule de repos pour saturer son circuit magnétique et le mettre à l'état de courant fort. Aucune autre bascule de la même jonction ne peut alors également avoir un courant élevé. Aucune ligne ne peut donc accéder à cette jonction car elle est occupée par la bascule restante.

Lorsqu'une jonction est préparée pour être prise par le répartiteur de jonction, le courant circulant dans l'enroulement E est interrompu mais la bascule de repos reste à courant élevé en raison de sa propriété de mémoire.

Par contre, la bascule correspondant à la première ligne appelante peut passer à l'état de courant fort dès qu'un instant

un signal saturant lui est envoyé par la ligne ; il conservera alors son état de courant fort jusqu'à ce qu'un nouvel ordre soit envoyé à la jonction.

Enfin, lorsqu'une jonction est saisie, un courant important traverse la bascule correspondant à la ligne qui a saisi la jonction et empêche toute autre ligne de saisir la même jonction.

Un circuit commun aux bascules 20 lignes indique au répartiteur si une jonction a été saisie et que le répartiteur doit poursuivre sa recherche d'une jonction libre.

Si toutes les jonctions sont prises, le répartiteur de jonction continue de tourner jusqu'à ce qu'une jonction se libère. Sa vitesse de rotation est d'environ 1 jonction par milliseconde, de sorte que dans le cas le plus défavorable le distributeur met 4 millisecondes pour signaler qu'une jonction vient d'être libérée.

2.3 CIRCUIT D'ENREGISTREMENT

Dès qu'un carrefour est saisi, il recherche un registre libre. Cette opération s'effectue exactement de la même manière que la recherche faite par une ligne d'une jonction libre.

Le distributeur de registre sélectionne l'un des deux registres qui est libre.

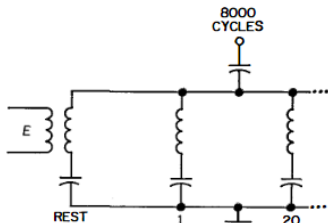


Figure 15—Application de la tension à 21 circuits à bascule via un condensateur commun pour permettre à un seul d'être actif à la fois.

Chaque registre se compose d'un circuit de retard de 150 millisecondes, d'un compteur de trains, d'un compteur de dizaines, d'un compteur d'unités et d'une matrice de décodage, comme illustré à la Figure 16.

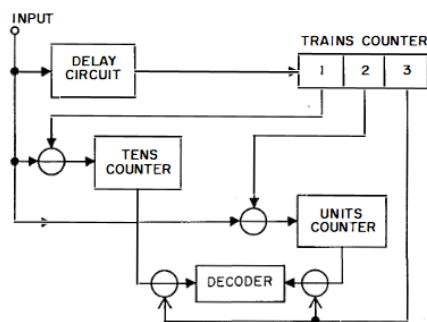


Figure 16—Register circuit.

Le rôle du circuit de retard est d'envoyer une impulsion au compteur de trains après que 150 millisecondes se soient écoulées depuis que la dernière impulsion d'une série a été envoyée par le cadran de l'abonné. Ce circuit opère donc sur tous les fronts descendants des trains d'impulsions et permet de séparer les unités des dizaines.

Le compteur des trains est à 3 étages et au repos est en position 1. La première série d'impulsions numérotées entrantes va au compteur des dizaines car la porte sous contrôle de la position 1 est alors ouverte.

A la fin du premier train d'impulsions, la commande passe à la seconde position fermant la porte du compteur des dizaines et ouvrant la porte du compteur des unités qui enregistre la seconde série d'impulsions.

A la fin du deuxième train, qui correspond à la fin de la numérotation à 2 chiffres, la commande passe à la troisième position, qui relie la matrice de décodage aux compteurs des dizaines et des unités.

Cette matrice de décodage à diodes fournit alors une tension aux sorties appropriées du registre, connectant ainsi l'abonné appelé au jonction. Le registre devient alors libre et tous ses compteurs reviennent au repos.

2.4 CIRCUIT DE ONCTION VERS LA LIGNE DE L'ABONNÉ APPELÉ

La connexion entre l'abonné appelé et la jonction est contrôlée par la matrice de décodage du registre à l'aide d'un deuxième jeu de 20 bascules de ligne affectées aux abonnés appelés et 1 bascule de repos pour chacune des 4 jonctions.

Ainsi, les opérations impliquées lors de la prise d'une jonction par la ligne d'un abonné appelant sont complètement séparées de celles impliquées dans le raccordement de la ligne de l'abonné appelé à la jonction.

Ces 21 bascules sont également alimentées à 8000 cycles à travers un condensateur commun, de sorte qu'un seul d'entre eux peut avoir un courant élevé à la fois. Ce sera soit la bascule de repos, lorsque la jonction n'est reliée à aucune ligne appelée, soit la bascule correspondant à la ligne d'abonné appelée lorsque la matrice de décodage à diodes du registre a fourni un potentiel sur le fil correspondant à cette doubler.

Il est évident que cette séparation des circuits de commande de l'appelant et de l'appelé et les propriétés des circuits ferromagnétiques couplés remplissent automatiquement les conditions de double test si importantes dans la commutation téléphonique.

2.5 CIRCUIT DE SONNERIE

La fonction sonnerie soulève ce qui est actuellement l'une des questions les plus controversées quant à l'utilisation de l'électronique dans la commutation téléphonique.

Tous les circuits qui viennent d'être décrits sont susceptibles d'être alimentés ou de transmettre une puissance d'environ 10 milliwatts.

C'est amplement suffisant pour des niveaux de parole normaux. Malheureusement, cependant, une puissance d'environ 2 watts est nécessaire pour faire sonner la sonnerie du poste de l'abonné.

Avec les outils et techniques actuellement disponibles, les portes électroniques des équipements ne peuvent pas être rendues capables de transmettre une telle puissance.

L'alternative consiste à utiliser un amplificateur dans le circuit de ligne de chaque abonné pour augmenter le niveau de sonnerie de 10 milliwatts, qui circule normalement dans l'équipement, à 2 watts.

Cet amplificateur est coûteux : on utilise un amplificateur magnétique car il est très robuste et donc très fiable. Mais il ne faut pas se voiler la face que cette solution n'est pas forcément définitive comme on le verra plus loin.

Le circuit de ligne avec l'amplificateur magnétique est illustré à la Figure 17.

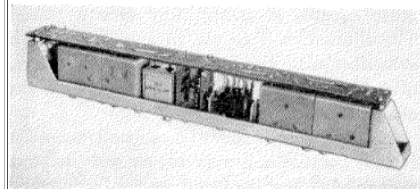


Figure 17—Line circuit including the magnetic amplifier for ringing.

L'amplificateur occupe les trois quarts du volume du circuit de ligne.

2.6 ALIMENTATIONS

Le central utilise diverses alimentations pour son fonctionnement.

Ils comprennent une tension continue de 24 volts pour le microphone, des tensions de polarisation directe de 6 volts et 24 volts et une tension alternative à 8000 cycles.

Ces différentes tensions sont fournies à partir du réseau SO ou 60 cycles par des redresseurs au sélénium pour les tensions continues et à partir d'un oscillateur à tube à vide de 10 watts pour la tension à 8000 cycles. La consommation électrique totale est d'environ : 100 watts.

3. Aménagement

La figure 18 montre l'ensemble de l'équipement sous la forme d'une unité compacte.

Pour faciliter l'accès aux différentes parties, ils sont montés sur deux panneaux mobiles et escamotables.

Chaque panneau est divisé en étagères, visibles sur la figure 19, dans lesquelles sont logées les plaques imprimées supportant les circuits ferromagnétiques. Le premier panneau accueille les 4 circuits de jonction et le deuxième panneau porte les 2 registres.

La partie fixe de l'équipement dans la base abrite les 20 circuits de ligne.

L'ensemble de l'équipement a été spécialement traité pour résister aux manipulations mécaniques brutales et peut supporter les accélérations résultant de chocs considérables, comme ceux produits par les machines d'essais des services techniques de la Marine, qui emploient une masse de 100 kilogrammes (220 livres) tombant d'une hauteur de 1.5 mètres (59 pouces).

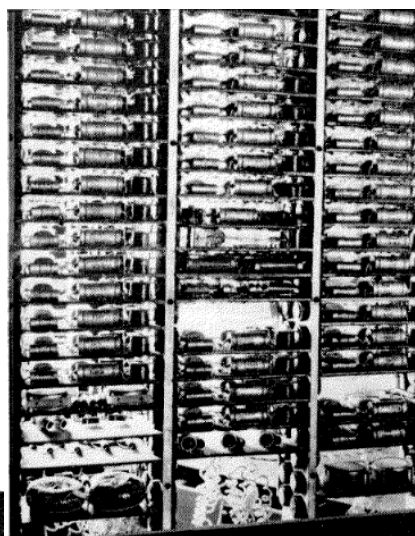
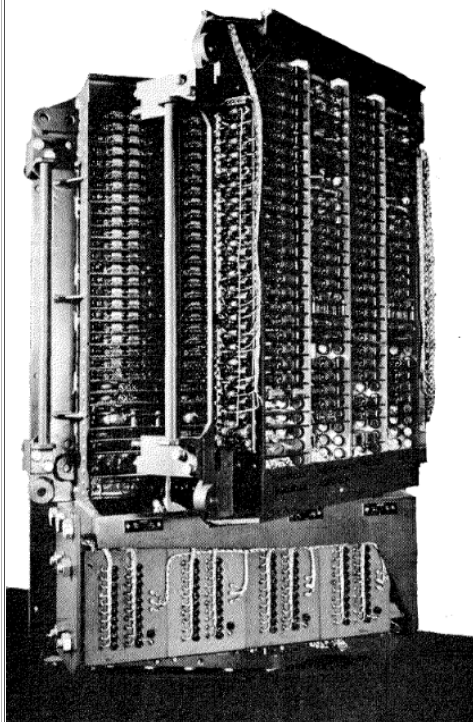


Figure 19—Method of mounting the ferroresonant circuits.

Figure 18---Équipement de commutation complet avec l'un des deux panneaux légèrement "ouvert". Les deux panneaux peuvent être séparés l'un de l'autre pour accéder aux composants.

4. Perspectives d'avenir

L'équipement qui vient d'être décrit remplit les conditions qui lui sont imposées. Cependant, de nombreuses améliorations sont encore souhaitables et comprennent des éléments tels qu'une diminution du poids et du volume et une augmentation de la vitesse de numérotation.

Il serait prématuré de tenter de donner des solutions détaillées à ce stade car seules des études préliminaires ont été réalisées.

Il est cependant possible de présenter quelques suggestions. Il est hautement souhaitable d'éviter l'utilisation d'amplificateurs magnétiques pour faire sonner l'abonné appelé car ils occupent un tiers du volume du central actuel. Une solution simple consiste à remplacer la sonnerie ou le vibreur par un dispositif électromagnétique assimilable à un mécanisme récepteur actionné par un courant à fréquence vocale amplifié par un transistor du poste d'abonné. Les circuits électroniques de commutation du central n'auraient donc jamais à transmettre une puissance supérieure à celle de la parole.

Maintenant que les circuits électroniques du central permettent des opérations de commutation quasi instantanées, le cadran du poste de l'abonné limite la vitesse de fonctionnement.

Les chiffres peuvent être transmis plus rapidement grâce à l'utilisation d'un clavier à 10 touches ; cela réduit la durée de l'opération d'au moins 3.

Le clavier pourrait envoyer des signaux de fréquence vocale au lieu des impulsions de numérotation habituelles et ils traverseraient tous les transformateurs du central et les répéteurs des lignes longue distance sans avoir à être transposés. De plus, ce clavier serait beaucoup plus résistant aux chocs mécaniques que le cadran actuel.

Le central actuel consomme une part importante de sa puissance dans l'alimentation en courant continu des microphones des postes d'abonnés. De nombreuses expériences sont en cours pour diminuer cette puissance.

Pour les équipements militaires, une solution a été apportée par l'utilisation de postes téléphoniques autogénérateurs, qui ne consomment pas de courant continu.

Ces ensembles ont, en plus, l'avantage d'être beaucoup plus résistants aux chocs et aux vibrations que les micros en carbone.

Si toutes les modifications esquissées étaient adoptées, l'alimentation pourrait se réduire dans les installations fixes à un redresseur 24 volts de quelques watts et un petit oscillateur de 8000 cycles composé de 2 transistors.

Dans les équipements portables, une petite batterie de stockage de 24 volts et l'oscillateur à transistor suffiraient.

En conclusion, il semble évident que si le matériel présenté aujourd'hui a le mérite de la nouveauté, il doit encore subir un certain développement avant de pouvoir être considéré comme définitif.

Le développement des équipements militaires devrait être rapide car seuls des centraux de faible capacité sont nécessaires.

Sur la base de la conception actuelle et intégrant les améliorations décrites, il est maintenant possible de construire un petit équipement léger consommant très peu d'énergie et constitué de composants, y compris les ensembles d'abonnés, qui fonctionneront de manière fiable pendant une longue durée de vie dans des conditions navales.

En ce qui concerne les besoins civils, il est certain qu'à l'avenir la commutation électronique sera la technique de base des grands échanges. Cependant, la construction et l'introduction de tels centraux dans les réseaux existants poseront de nombreux problèmes.

Parmi ceux-ci, non des moindres, figureront les dépenses d'équipement pour interconnecter les échanges électroniques avec ceux existants, ainsi que la formation du personnel.

Cependant, l'expérience acquise dans le développement de cet équipement naval sera un point de départ utile pour des applications plus importantes, bien que plus lointaines.

- 1958 Le Central téléphonique automatique privé électronique à 20 lignes est présenté à Bruxelles

DÉVELOPPÉ et fabriqué par le **LCT** Laboratoire Central de Télécommunications, Paris, et par **BTMC** Bell Telephone Manufacturing Company, de Anvers.

C'est un autocommutateur privé entièrement électronique de 20 lignes il était au centre de l'intérêt du pavillon de Bell à l'Exposition universelle de 1958 à Bruxelles. La photographie d'illustration montre des visiteurs qui s'appelaient continuellement les uns les autres en utilisant les téléphones sur la table et s'émerveillaient de voir leurs connexions établies rapidement par des moyens purement électroniques.

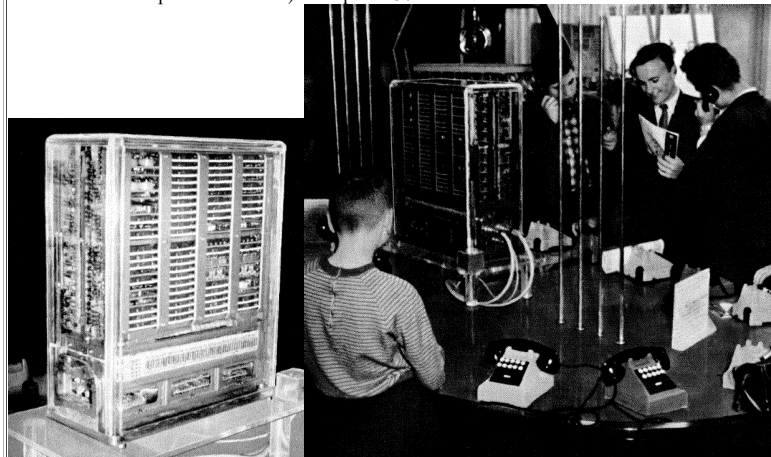
Le central peut gérer 4 conversations simultanées et 2 appels simultanément au moyen de 20 circuits de ligne d'abonnés, 4 circuits de jonction et 2 registres. Les éléments de circuit fondamentaux utilisés sont des diodes à jonction de silicium, de commutation de la parole commandées par des circuits magnétiques bistables constitués d'une réactance saturable en série avec un condensateur pour former un circuit ferro-résonnant.

En excluant complètement les contacts mobiles, tels que ceux des relais, la durée de vie de l'équipement devient pratiquement indéfinie.

Le poste d'abonné utilisé avec l'équipement diffère de la conception conventionnelle : les chiffres sont transmis à partir d'un clavier et non avec un cadran et la sonnerie a été remplacée par un dispositif électroacoustique piloté par un amplificateur à transistor dans le poste.

Dans le central, le circuit de ligne de l'abonné comprend un transformateur de ligne et le dispositif définissant l'état de la ligne, occupée ou libre, etc. Les circuits de commutation de la parole à diode au silicium utilisent deux diodes miniatures pour établir un chemin de la parole entre les abonnés. En condition de blocage, les diodes sont équivalentes à une résistance de 1 000 mégohms en parallèle avec un condensateur de 5 picofarads. Dans l'état conducteur, ils ont une résistance de seulement 4 ohms. La puissance crête transmise est de 50 milliwatts et l'atténuation totale de ligne à ligne est de 1 décibel. Les interrupteurs à diodes sont actionnés par les bascules magnétiques, qui forment également les compteurs de registre. Ces bascules sont pilotées par une alimentation 10 volts de 8 kilocycles par seconde. A cette tension, ils ont deux conditions de fonctionnement ; dans un état, le courant passé est 15 fois plus que celui de l'autre état. Après conversion en courant continu par des redresseurs au sélénium, la sortie de la bascule polarise les diodes en état conducteur ou bloquant.

Des circuits imprimés sont utilisés dans le commutateur; ses dimensions ne sont que de 22 x 53 x 61 centimètres . La puissance consommée par le central lui-même (hors courants micro des postes d'abonnés) n'est que de 30 watts en 24 volts.



C. Dumousseau, « Central téléphonique automatique à 20 lignes entièrement électronique »,

Sur la même technologie un autre centre à 240 lignes sera construit pour la Marine.

- En 1956, la société **Stromberg-Carlson** a réalisé un central automatique de 100 lignes et 15 jonctions pour la marine américaine. Le point de contact du circuit de connexion est probablement un transistor au germanium symétrique.

Cette liste ne serait pas complète sans la mention d'un important projet en construction (voir plus haut) . Aux États-Unis, le "Bell Telephone Laboratories" a annoncé un central entièrement électronique qui sera mis en service à Morris, Illinois, au printemps 1959. Il utilisera la commutation à fréquence vocale avec des "gaz tubes".

... Il a été constaté que cet équipement nécessite moins de la moitié de l'espace occupé par un central électromécanique et que le poids est réduit des trois quarts.

Le résultat le plus important des développements d'ordinateurs au LCT a été la formation d'équipes expérimentées, au moment où *ITT s'interrogeait sur la stratégie à suivre* en vue de la commande électronique des centraux téléphoniques [commutation spatiale] : devions-nous acheter des ordinateurs IBM et les adapter, ou en développer nous-mêmes ? On a choisi d'en développer au Laboratoire Central des Télécommunications, de Vélizy. Le premier a été le LCT 3200, dont dix prototypes ont été construits en 18 mois. Parallèlement, le LCT développait depuis 1959 le système qui s'appellera plus tard le *RITA*, à base de Mitra 15M / 125, le système Thomson de gestion des communications du champ de bataille, est un des grands succès d'exportation de cette société puisqu'il a été sélectionné par le commandement américain et réalisé aux USA sous license. Il faut noter que ce système utilise les techniques **MIC** mises au point par LCT / LMT.

Du 4 au 6 mars 1957 organisé par AT&T se tient aux USA le tout premier Colloque de Commutation Électronique (Electronic Switching Symposium) à l'initiative des Laboratoires Bell et visite du site "Pré-Morris". Cela agit comme un électrochoc en France.

Convaincu que l'électronique était la voie à suivre pour développer la prochaine génération de commutateur, Pierre Marzin, crée le **Département Recherches sur les Machines Électroniques (RME)** à Issy-les-Moulineaux, comprenant deux sections: l'une orientée calculateurs et technologies associées, circuits logiques, mémoires vives, mémoires de masse (disques, bandes magnétiques ...), et l'autre orientée commutation avec deux thèmes: le point de connexion et l'architecture.

Dans l'équipe, André Pinet, possède une bonne expérience dans des domaines variés, y compris sur la commutation. Sur le numérique il a été un pionnier en ayant travaillé sur le codage **PCM** (Pulse Code Modulation), dès 1947, dans la ligne de l'invention d'Alec Reeves en 1938 au laboratoire LMT de Paris, puis dans une deuxième étape **à partir de 1958, au moment où on peut utiliser des transistors pour faire des réalisations expérimentales.**

1958 L'équipe RME est partie de la recherche fondamentale afin d'explorer, sans a priori, une grande variété de directions.

Sa première réalisation fut la construction de deux prototypes, **ANTINEA** (1958-1960) et **ANTARES** (1961-1963), qui permirent l'équipe pour évaluer le problème dans deux directions principales • Le bon usage des composants électroniques et • Les méthodes de conception de logiciels .

Le premier concerne un autocommutateur privé de 200 lignes, l'**AT 200**.

Les échantillons de parole sont seulement modulés en amplitude (M.I.A.), donc sans codage.

Ils sont véhiculés sur un multiplex de 32 voies, secouru en cas de besoin par un autre multiplex identique. La commande est constituée d'un multienregistreur et d'un traducteur dont les données sont doublées sur un ruban de papier perforé.

Un premier exemplaire est réalisé au C.N.E.T. ; un second est fabriqué par le laboratoire commun de **SO.CO.TEL**. (installé à Lannion) et envoyé à l'exposition universelle de Montréal en 1967 où il surprend les visiteurs des sociétés Bell des États-Unis et du Canada.



Essais sur version privée AT200 (Photo FT/R&D)

Début 1963 C'est donc au sein du département C.T.I. que commencent, les études de commutation temporelle. répartis entre Issy-les-Moulineaux et Lannion c'est ce que nous avons évoqué avant :

1 - système spatial et à commande centralisée (devant aboutir à une industrialisation à court terme) à Issy-les-Moulineaux.

2 - système temporel (à long terme) à Lannion,

Deux projets sont lancés en parallèle.

La mode étant à l'époque de baptiser les projets de noms glorieux de l'Antiquité (RAMSES, ARISTOTE, SOCRATE, etc.),

Les **centraux** Socrate (semiélectronique) et **Aristote** (entièrement électronique) ont été montés à Lannion pour une exploitation expérimentale

Le **prototype ARISTOTE** devait être utilisé pour mettre en place un système de grande capacité organisé autour d'un processeur central et de plusieurs processeurs secondaires périphériques. ARISTOTE était purement électronique, le **réseau de commutation étant constitué de matrices de transistors**. Avec son calculateur **RAMSES**, il s'agit d'étudier un véritable prototype d'autocommutateur, sur lequel on pourra commencer à expérimenter des nouveautés opérationnelles, cad des services accessibles seulement aux commutateurs numériques. Ramses comporte des tambours magnétiques, sur lesquels on stocke les informations comptables relatives aux abonnés.

Ramses, utilise des tambours SEA et des bandes magnétique de la Compagnie des Compteurs.



A Lannion, le Commutateur ARISTOTE est mis en service en exploitation réelle sur le réseau téléphonique public le 10 février 1966.

SOCRATE était beaucoup plus traditionnel et reposait essentiellement sur des composants à barre transversale [Crossbar](#).

Son objectif principal était de développer un nouveau logiciel pour le système de contrôle. Il est doté d'un réseau de connexion de type Crossbar CP400 piloté par deux calculateurs spécialisés dénommés multienregistreurs fonctionnant en « partage de charge » comme dans les commutateurs électromécaniques. Ce principe, adopté sur les conseils de P. Lucas, se distingue de celui des Américains basé sur le « synchronisme » des deux calculateurs.



Commutateur SOCRATE le 21 avril 1964.

Le premier centre appelé **PÉRICLÈS** de commutation spatiale à "relais à tige et contacts scellés". a été créé en association avec les constructeurs et a conduit à l'installation en 1970 du premier central téléphonique à Clamart.



Commutateur PÉRICLÈS I Paris-Michelet, peu avant sa mise en service. Carte composant la Matrice de Connexion des Commutateurs PÉRICLÈS, réalisée à partir de 128 relais à tige et contacts scellés.

Ce système a formé la base du [Metaconta](#) développé plus tard par [LMT](#). Le calculateur LCT3200 était fabriqué à l'usine de Laval : un accord-groupe interne à ITT prévoit que seule la LMT fabrique les calculateurs pour l'ensemble de ses filiales. Son défaut était d'être trop volumineux (composants discrets), et il a été fait un successeur en circuits intégrés, le LCT 3202.

En même temps les études d'un convertisseur analogique - numérique, le COdeur DECodeur (**CODEC**) démarrent, car c'est un élément de base pour un **système numérique de commutation temporelle**, le **projet PLATON** concernant l'étude d'un autocommutateur public de moyenne capacité.

Durant l'année 1961 L-J Libois lance le projet de recherche Numérique, qu'il avait négocié avec son directeur P. Marzin. Sa première décision est de prendre comme adjoint **André Pinet**.

[PLATON](#) *prototype lannionais d'autocommutateur temporel à Organisation Numérique*. à commutation temporelle.

Suite aux travaux et recherches, loin de Paris, et de leur hiérarchie, les ingénieurs du Cnet se sentent libres d'essayer, d'oser. Ils lancent un pari sur l'avenir, raconte Yves Bouvier, maître de conférences à la Sorbonne Université et spécialiste de l'histoire des Télécommunications.

'Au lieu de travailler sur l'appareil de commutation téléphonique de demain, ils décident de plancher sur celui d'après-après-demain'.

Très rapidement, l'organisation générale du commutateur, c'est-à-dire la répartition des différentes opérations à effectuer, est arrêtée.

En 1961 les bases théoriques de la commutation numérique sont à peu près maîtrisées, notamment avec les apports du laboratoire LCT de l'avenue de Breteuil, lié à la société LMT. En effet en 1947 Maurice Deloraine, alors directeur technique du groupe ITT, avait déposé le premier brevet de commutateur numérique à répartition temporelle et soutenu une thèse de Docteur-Ingénieur à Paris sur ce thème. Puis au sein du LCT, en 1948-50 Pierre Aigrain vérifie la faisabilité d'une commutation analogique à répartition temporelle avec modulation PAM (Pulse amplitude modulation) et enfin en 1958 le brevet E. Touraton-J-P. Le Corre, ingénieurs au LCT, complète celui de M. Deloraine.

Les concepts sont issus des études détaillées ci-dessous (Exposés) : **Avantages de la modulation par impulsions codées P. Mornet.** et **Application de la modulation par impulsions codées à un réseau téléphonique intégré de Jean Le Corre**.

On peut distinguer grossièrement deux familles de sous-ensembles :

1. les organes chargés d'assurer l'interface avec les lignes d'abonnés et les circuits ainsi que l'échantillonnage et le codage de la parole. Une unité de sélection d'abonnés gère 512 de ceux-ci, concentrés sur deux multiplex MIC de 32 voies (et non 24 comme dans l'étude) et une unité de sélection de circuits gère 64 circuits accédant aussi à 2 multiplex 32 voies (donc sans concentration). Tous les multiplex sont raccordés à un réseau de connexion au travers duquel on doit pouvoir établir à la demande n'importe quel transfert d'informations codées entre les voies de chacun d'eux. Ce choix structurel prête peu à discussion ; la difficulté réside dans la réalisation, vu la technologie alors disponible.

2. les organes chargés de piloter l'ensemble des opérations, et en premier lieu une base de temps générale, horloge générant et distribuant les différentes cadences indispensables dans un système temporel. Quant aux organes de commande proprement dits, leur organisation pose problème.

ITT communique dans "ECTRICAL COMMUNICATION • Volume 38", un état des lieux sur les avancées des recherches du [LCT](#).

Exposé 1 : **Application de la modulation par impulsions codées à un réseau téléphonique intégré** (article technique indispensable pour comprendre la comutation temporelle)

Avantages de la modulation par impulsions codées P. Mornet.

Pierre Mornet est né à Châteauroux, en France, le 21 mars 1919. Il est diplômé en tant qu'ingénieur radio de l'Ecole Supérieure d'Electricité de Paris. Il est ingénieur mécanicien dans l'Armée de l'Air avant de rejoindre le [LCT](#) Laboratoire Central de Télécommunications en 1943. En 1945, il est rappelé par l'Armée de l'Air, Service Transmission. M. Mornet retourne au Laboratoire Central de Télécommunications en 1952 et depuis 1956, il est responsable du laboratoire de commutation et de transmission.

Introduction de l'électronique dans la commutation téléphonique

Les avantages essentiels attendus de l'introduction de l'électronique dans la commutation téléphonique sont une réduction du volume des équipements, une plus grande fiabilité et une souplesse de fonctionnement accrue. Les deux premiers avantages réduisent les coûts de bâtiments-infrastructures, d'installation et d'entretien. Le troisième peut accroître les bénéfices d'exploitation en offrant des services supplémentaires aux abonnés.

Les méthodes de commutation électronique diffèrent dans la manière dont les principes de division spatiale ou temporelle sont appliqués au circuit de parole et au circuit de commande.

La distinction entre ces deux types de circuits : les premiers fournissant effectivement les signaux de parole entre les abonnés, et les seconds commandant les liaisons de parole à établir ou à libérer, est apparue de plus en plus clairement au fur et à mesure de l'évolution des centraux électromécaniques et, bien entendu , reste valable pour les centres introduisant des éléments électroniques de quelque nature que ce soit.

La division spatiale et temporelle des fonctions de commutation s'est développée progressivement dans le passé. Dans la division temporelle, la fréquence d'utilisation de tout composant ou élément est une fonction directe de sa vitesse de fonctionnement. Si son temps de réponse est très court par rapport au temps imparti pour effectuer son opération particulière, l'ensemble du central

peut n'avoir besoin que d'un seul élément de ce type, qui gèrera tous les appels et sera généralement installé dans une position centrale.

Plusieurs centraux expérimentaux ont été réalisés comportant un circuit de commande fonctionnant sur ce principe et un circuit de parole du type à division spatiale dans lequel le point de croisement, qui assure effectivement la continuité du trajet de parole, est constitué soit de contacts métalliques, soit d'éléments électroniques.

Parmi ces échanges expérimentaux, on peut en citer deux ; l'un a été installé et exploité par Bell Telephone Laboratories à Morris, Illinois, aux États-Unis, et l'autre est un central électronique privé de 240 lignes construit par le Laboratoire Central de Télécommunications, qui est en opération à Paris depuis janvier 1960.

Cependant, comme aucune des solutions au problème du point de croisement électronique n'a été considérée comme totalement satisfaisante, l'attention s'est portée sur les systèmes semi-électroniques comme successeur immédiat des systèmes électromécaniques.

Réseau vocal temporel

Alors que de tels systèmes semi-électroniques présentent un grand intérêt, il semble y avoir une controverse quant à savoir s'ils ne sont qu'une étape vers des techniques dans lesquelles la vitesse des éléments électroniques peut être mieux utilisée.

En effet, dans un réseau spatial de parole, le nombre de points de croisement est toujours très important, même en utilisant les méthodes les plus élaborées pour leur nombre.

De plus, le temps pendant lequel un point de croisement donné est utilisé est toujours court par rapport au temps pendant lequel il est en attente.

Comme on le sait depuis longtemps, il n'est pas nécessaire de transmettre la parole sous la forme d'un signal continu, mais il suffit de transmettre de brefs échantillons à un débit qui est au moins le double de la fréquence la plus élevée du spectre de la parole.

Plusieurs systèmes de transmission basés sur ce principe ont été testés ou exploités, tous utilisant bien entendu l'avantage fondamental d'entrelacer les échantillons de plusieurs conversations pour obtenir un fonctionnement en multiplex.

Avec des éléments électroniques rapides, le principe de division spatiale peut également être appliqué au circuit de parole. Des points de croisement peuvent encore être nécessaires, mais grâce au multiplexage, leur taux de fonctionnement est beaucoup plus élevé que dans la division spatiale ; de ce fait leur nombre peut être considérablement réduit et affecter ainsi le volume des échanges équipement.

Systèmes de transmission par répartition dans le temps

Les systèmes de transmission basés sur la division temporelle diffèrent essentiellement les uns des autres par le procédé utilisé pour la transmission des informations contenues dans l'échantillon de l'onde de parole. Les 3 types de modulation d'impulsion suivants ont été développés.

A. Modulation d'amplitude d'impulsion dans laquelle l'amplitude de l'impulsion elle-même varie avec celle de l'échantillon.

B. Modulation de largeur d'impulsion dans laquelle l'amplitude reste constante mais la largeur de l'impulsion est fonction de la modulation.

C. Modulation impulsion-temps dans laquelle l'amplitude et la largeur de l'impulsion restent constantes mais le temps de l'impulsion par rapport à un temps de référence varie en fonction de la modulation

Modulation par impulsions codées

Ces différents types de modulation sont tous plus ou moins vulnérables au bruit et à la diaphonie. Une protection beaucoup plus efficace peut être obtenue avec l'utilisation de la modulation par impulsions codées divulguée dans le brevet français 852 183 délivré à Reeves en 1938.

Selon ce procédé, l'amplitude de chaque échantillon est mesurée et sa valeur est transmise sous forme d'une série d'impulsions. Seule la présence ou l'absence d'un pouls est significative.

Ainsi, seule la disparition d'une impulsion du signal ou l'apparition dans celui-ci d'une impulsion supplémentaire peut provoquer une détérioration de l'information transmise.

En effet, si l'amplitude maximale d'une impulsion supplémentaire est inférieure à la moitié de celle des impulsions du signal codé, le signal d'origine peut être reconstitué sans erreur au niveau du récepteur. Une simple modification des caractéristiques d'une ou plusieurs impulsions causée par la diaphonie, la distorsion ou le bruit n'a aucun effet tant que la limite ci-dessus n'est pas dépassée.

D'une manière générale, la modulation par impulsions codées offre une grande fiabilité de transmission, et le bruit, la diaphonie et l'atténuation de la parole dépendent de la longueur de transmission et du nombre de points de repéteur.

AUGMENTATION DE LA FIABILITÉ DE LA COMMUTATION

L'augmentation de la fiabilité de la modulation par impulsions et codage ne se limite cependant pas à la transmission elle-même. C'est un fait bien connu et évident qu'a priori, les éléments fonctionnant dans des conditions ON et OFF garantissent un bon fonctionnement supérieur à celui des éléments qui doivent avoir des caractéristiques précises indépendantes du temps et des conditions d'utilisation, telles que la température, alimentation électrique, etc.

De plus, les conditions ON ou OFF sont particulièrement propices au fonctionnement des transistors, qui sont donc particulièrement adaptés au domaine de la commutation.

Dans ces deux conditions, la puissance dissipée est en fait négligeable. A l'état ON, la différence de potentiel entre l'émetteur et le collecteur est très faible, de l'ordre du dixième de volt pour le germanium et de l'ordre du volt pour le silicium, alors qu'à l'état OFF, le courant traversant le transistor n'est qu'un courant de fuite, d'une intensité de quelques microampères.

L'adoption de ce type de modulation permet d'appliquer de telles conditions de fonctionnement à tous les circuits traitant des signaux de parole. C'est le cas des équipements de transmission et du circuit de parole en commutation.

PROBLÈME DU POINT DE CROISEMENT

Pour le circuit de parole en particulier, le problème du point de croisement est grandement simplifié. Dans la commutation spatiale, outre un faible prix, un rapport d'impédance d'au moins 10 000 entre les conditions fermées et ouvertes (off) est requis, ce rapport déterminant la diaphonie. Dans la commutation temporelle, comme dans la modulation d'impulsions en amplitude, une exigence impérative du point de croisement est qu'il oublie rapidement l'information qu'il vient de transmettre pour ne pas perturber l'information suivante ou, en d'autres termes, ne pas introduire diaphonie. Cela signifie que tous les transistors utilisés comme grilles doivent posséder des temps de

commutation extrêmement courts.

La modulation impulsion-code est au contraire parfaitement compatible avec des rapports d'impédance fermé-ouvert de l'ordre de 10 et ne nécessite aucune vitesse de fonctionnement particulière. Ces caractéristiques, associées au nombre considérablement réduit de points de croisement pour la répartition dans le temps, rendent ce type de modulation idéal pour la commutation.

Cependant, pour une évaluation objective des mérites de la modulation par impulsions et codage, il est nécessaire de considérer également la conversion des signaux analogiques en signaux numériques et vice versa. Les unités de codeur et de décodeur qui effectuent ces opérations sont les seuls éléments du circuit de parole qui ne fonctionnent pas complètement dans ce mode MARCHE ou ARRÊT.

Ainsi, leur qualité de communication ne dépend que de ces unités pourvu que les conditions minimales requises de transmission et des circuits de commutation soient remplis.

Problème du réseau téléphonique

Les avantages de la modulation par impulsions codées peuvent être utilisés au mieux dans un réseau intégré, c'est-à-dire un réseau dans lequel la transmission et la commutation se font avec le même type de modulation.

L'expérience a montré que la modulation par impulsions codées, en raison de sa résistance aux interférences, peut être transmise sur des paires téléphoniques ordinaires, qu'elles fassent ou non partie d'un câble téléphonique ordinaire. L'atténuation de l'impulsion est bien sûr grande, mais il suffit d'introduire un simple répéteur tous les 2 kilomètres environ, pour restituer l'ensemble de l'information sans perte. En pratique, ces répéteurs pourraient occuper la place des bobines Pupin utilisées actuellement, n'entraînant ainsi que de faibles dépenses d'installation.

En pratique, un système de modulation par impulsions codées à 24 voies nécessite deux paires téléphoniques, une pour chaque sens de transmission. Néanmoins, 24 communications sont gérées par 2 paires ordinaires qui, dans les systèmes classiques, ne véhiculent que 2 communications.

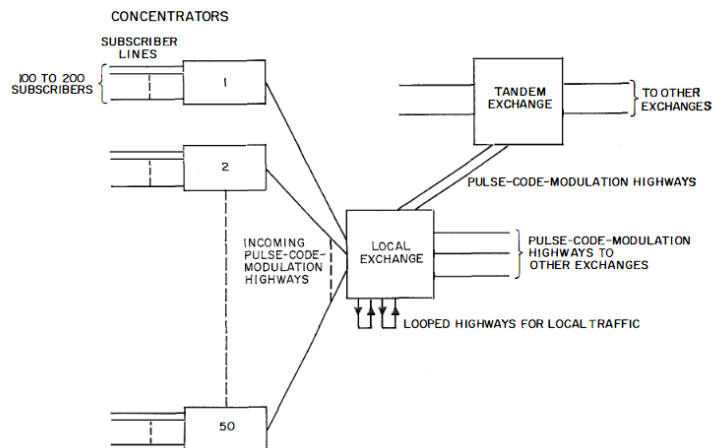
Par ailleurs, le principe des liaisons 4 fils imposées par la modulation par impulsions codées pourrait peut-être être avantageusement étendu aux lignes des abonnés.

Le circuit de poste et de ligne de l'abonné, éléments dont le prix a une grande influence sur le coût total d'un système, peut en effet être simplifié sous certaines conditions.

La possibilité de multiplier la capacité de transmission par un facteur important peut être exploitée de différentes manières, mais il apparaît, surtout si l'on considère le réseau téléphonique local où les liaisons sont courtes, que les circuits de commutation devraient également être adaptés à la modulation par impulsions codées pour éviter de coûteuses équipements pour changer le type de modulation. Il est également préférable d'étendre la transmission multiplex au plus près des abonnés ce qui conduit à envisager l'utilisation généralisée d'une structure de type « étendu » pour le réseau local.

La figure 1 en donne un exemple.

Figure 1—Local telephone network using pulse-code modulation.



Les abonnés d'un tel réseau sont connectés à des concentrateurs. Chaque concentrateur est desservi par une autoroute de modulation par impulsions et codage de, par exemple, 24 canaux.

Le central local lui-même ne comprend alors essentiellement que les circuits de commutation entre les voies multiplex à modulation par impulsions et codage.

Ces autoroutes sont de 3 types : celles assurant la connexion aux concentrateurs, celles permettant l'interconnexion avec d'autres échanges, et quelques-unes assurant le trafic local.

Enfin, les centraux de transit assurent les interconnexions entre centraux locaux et n'ont à effectuer que des commutations entre autoroutes multiplex à modulation par impulsions codées.

CONCENTRATEUR

Un concentrateur, représenté sur la figure 2, consiste essentiellement en l'étage de commutation entre les lignes des abonnés et la voie de modulation par impulsions et codage attribuée à ce concentrateur. Ça peut être placé dans le même bâtiment que le central local mais, pour tirer le meilleur parti possible du central de type étendu, il sera de préférence placé à proximité des abonnés qui y sont raccordés, et ainsi minimiser la longueur de leurs lignes.

Il comprend les circuits d'échantillonnage ainsi que les dispositifs de codage et de décodage. Sa très petite taille permet une installation facile.

CENTRAL LOCAL

Considérons comme exemple typique un réseau local de 8 000 abonnés ayant individuellement un trafic de 0,1 erlang à l'heure chargée, un trafic local de 20 % du trafic total et une répartition des lignes sur 50 concentrateurs desservant chacun 160 abonnés. .

Le central local doit donc assurer à la fois les interconnexions entre les 50 impulsions codées.

AUTOROUTES EN BOUCLE POUR LE TRAFIC LOCAL

les autoroutes multiplex de modulation le reliant aux concentrateurs et les autoroutes le reliant à d'autres centraux locaux ou de transit.

En principe, un central de transit ne sera alors pas différent d'un central local puisque, dans les deux cas, les opérations de commutation à effectuer en voiture

Les tests effectués ne sont effectués que sur des autoroutes multiplex à modulation par impulsions et codage.

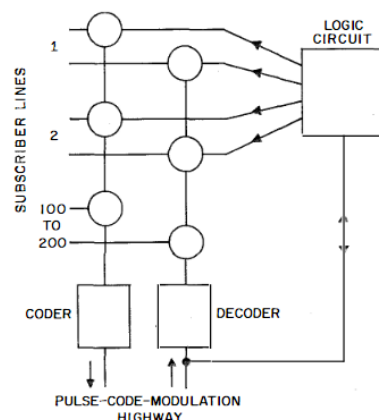
Il n'y a donc, dans un tel réseau, que deux étages de commutation de base, le premier assurant les liaisons entre les lignes d'abonnés et une jonction de modulation par impulsions codées, qui sont les concentrateurs, et le second, qui est l'élément de base du échange locaux et de transit, assure les interconnexions entre les différentes autoroutes multiplex à modulation par impulsions et codage. Les deux types d'étages de commutation ont été construits et testés expérimentalement

Une étude préliminaire du réseau de parole d'un central complet a par ailleurs montré qu'en général un seul étage de commutation pouvait suffire. L'adoption d'un réseau de raccordement plus complexe à plusieurs étages ne semble pas justifiable. Même s'il permet quelques économies sur le nombre de points de croisement, ce nombre est déjà très réduit par le fonctionnement en multiplex et le gain en valeur absolue ne peut être que faible. Le réseau à un étage semble donc être la meilleure solution, même pour de très grands centres.

EXPLOITATION DU RÉSEAU EN DIVISION TEMPORELLE

La nature numérique des signaux de modulation par impulsions et codage permet de les enregistrer dans une mémoire à cellules binaires. Cette possibilité est mise à profit dès que les signaux arrivent au central. Sans cette mémoire d'entrée, l'établissement d'une liaison entre deux abonnés poserait le problème de trouver une position temporelle libre simultanément sur toutes les voies multiplex impliquées dans la liaison entre le concentrateur de l'abonné appelant et le concentrateur de l'abonné appelé. Le choix de la position temporelle nécessiterait alors la circulation de l'information entre tous les centraux intéressés. De plus, un alignement des positions temporelles devrait être effectué

Figure 2—Concentrator.



sur un nombre variable d'autoroutes multiplex selon les positions géographiques des deux abonnés. Le trafic possible sur ces autoroutes serait alors très faible et cela conduirait à une mauvaise utilisation des circuits de transmission et de commutation.

Alignement des positions temporelles dans chaque échange

On peut heureusement remédier à la situation décrite ci-dessus en enregistrant les signaux à leur arrivée dans le central dans ce que l'on appelle une mémoire de parole. A cette mémoire de parole en est associée une autre, dite mémoire à commutation temporelle, qui contient l'identité des différentes lignes de la mémoire de parole. Une cyclique de la mémoire à commutation temporelle permet la lecture ou l'écriture des lignes de la mémoire vocale dans n'importe quel ordre.

Cet ordre est choisi par le circuit de commande du central de manière à satisfaire l'alignement des positions temporelles à l'intérieur du central.

L'ensemble formé par ces deux mémoires, de commutation vocale et temporelle, permet d'effectuer une commutation temporelle des canaux d'une autoroute entrante. Ils servent donc à rendre l'heure à laquelle un signal est traité dans le central indépendant de son heure d'arrivée.

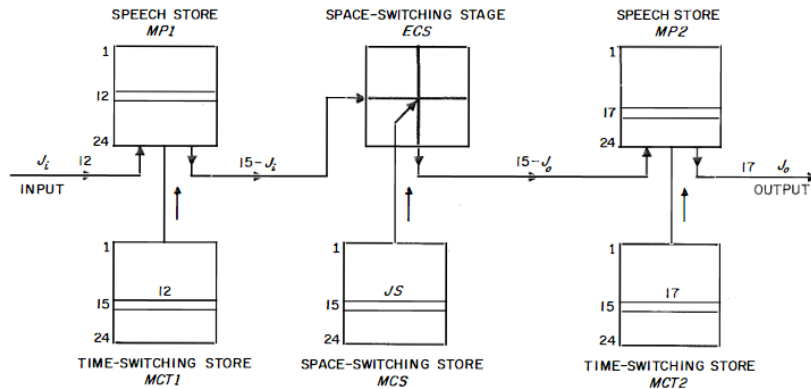


Figure 3—Switching stage between pulse-code-modulation highways.

Un exemple en est donné sur la figure 3.

Un signal de parole arrive sur le canal 12 de la voie J_i et est écrit sur la ligne 12 de MP1, sous le contrôle des circuits de synchronisation. L'identité de cette ligne 12 est écrite sur la ligne 15 de MCT1 sous le contrôle du circuit logique. A l'intervalle de temps 15, la ligne 15 de MCT1 est lue, la ligne 12 de MP1 est lue et son contenu transféré sur la ligne 17 de MP2 reliée à l'autoroute 10. L'identité de cette ligne est fournie par MCT2 et lue à l'instant 15. Le transfert de MP1 à MP2 est formé par le point de croisement reliant J_i à 10,

qui est conductrice lors de la lecture de la ligne 1 5 de MCS au temps 1 5. Le signal de parole sera transmis à J_0 lors de la lecture de la ligne 1 7 de MP2 au temps 17.

Réarrangement

Malgré la grande flexibilité offerte par les mémoires de parole associées aux mémoires de commutation, un blocage peut se produire à l'intérieur d'un central, ce qui réduit l'efficacité de l'ordre de 50 % pour les autoroutes à 24 canaux. Une nouvelle méthode d'interruption et de reroutage de connexion, dite méthode de « réarrangement », surmonte cette difficulté et supprime le blocage dû à l'alignement des positions temporelles en profitant de la souplesse apportée par la mémoire de parole.

Le principe de la méthode est expliqué dans la partie 3 de cette série d'articles. A ce stade, il suffit de mentionner que cette méthode augmente considérablement l'efficacité de l'autoroute au prix d'une légère augmentation de l'équipement de contrôle du central, et que les opérations de réarrangement sont effectuées avec une perte d'information négligeable ou nulle.

Dans l'application de ce procédé, il est envisageable soit de limiter les transpositions à celles qui peuvent être faites à l'intérieur d'un central, soit de faire des transpositions également sur les positions temporelles dans les circuits de transmission entre centraux.

La complexité des problèmes de signalisation posés par cette dernière solution nous amène à penser qu'actuellement la solution limitant les réaménagements à l'intérieur de chaque central est préférable, malgré sa moindre économie d'équipement.

La souplesse apportée par la nature purement numérique de tous les signaux permet de réaliser des échanges d'une fiabilité de fonctionnement absolue qui disposent d'un circuit de parole de dimensions très réduites et qui permettent une meilleure utilisation des circuits de transmission résultant d'une capacité accrue et d'un très haut rendement.

SYNCHRONISATION

Un très grand problème est que les signaux arrivant sur les autoroutes avec n'importe quelle phase doivent, sous le contrôle d'une horloge locale au central, être identifiés, séparés et correctement acheminés.

Ce problème est facilement résolu pour le concentrateur et ne serait pas très difficile pour un réseau en étoile, mais il devient plus difficile dans un réseau maillé car des priorités doivent être attribuées aux différents échanges pour contrôler correctement l'ensemble du réseau et parce que les paramètres de transmission sont variables.

Il existe cependant une solution très sûre grâce à l'utilisation de la mémoire numérique qui enregistre les signaux de chaque autoroute à leur arrivée dans le central.

L'écriture dans cette mémoire est commandée par un circuit de synchronisation qui introduit des retards temporels pouvant être aussi importants que le temps entre bits adjacents pour compenser les décalages lents ou la gigue rapide du temps de propagation. Il place tous les bits dans des positions correspondant à leur périodicité d'origine.

Le circuit de synchronisation identifie également chaque canal par son code et achemine ses bits entrants vers une ligne de canal désignée dans une mémoire. Du fait que le rythme des bits a déjà été corrigé, cette mémoire peut fonctionner normalement et la lecture peut alors avoir lieu à tout instant déterminé par l'horloge locale du central.

Cette mémoire joue ainsi le rôle de tampon et permet un fonctionnement asynchrone en supprimant les longues variations lentes du temps de propagation trop importantes pour être gérées par le circuit de temporisation vernier.

Evidemment, ce procédé implique dans certains cas une perte d'information, qui ne se manifeste que par un bruit absolument négligeable en téléphonie. Une variation relative de fréquence de 10-s entre l'information entrante et l'heure locale provoque une perte de l'ordre de 1 impulsion sur 106

Introduction de la modulation par impulsions codées dans les réseaux existants

La question se pose bien sûr de savoir comment un tel réseau pourrait remplacer progressivement le réseau existant ou du moins s'y introduire.

Il faut d'abord mentionner qu'il y aura probablement une étape intermédiaire au cours de laquelle les centraux téléphoniques disposeront de circuits électroniques de commande centralisés avec une programmation

flexibilité telle que l'introduction de nouvelles techniques d'exploitation du réseau sera possible. Cette étape intermédiaire devrait permettre l'introduction ultérieure du réseau intégré à modulation par impulsions et codage.

Mais, indépendamment de cette considération, un certain nombre de suppositions peuvent être faites. La modulation par impulsions codées pourrait d'abord être introduite dans les connexions entre les centraux pour éviter l'installation de nouveaux câbles. Certaines paires des câbles saturés pourraient ainsi être utilisées pour constituer des autoroutes à modulation par impulsions codées. Des tests satisfaisants ont déjà été effectués dans ce sens.

Une autre possibilité pourrait être que, dans les zones d'expansion rapide de la population, les paires d'abonnés existantes puissent être regroupées par deux pour constituer des autoroutes à modulation par impulsions et codage desservant des concentrateurs.

L'efficacité des lignes serait ainsi multipliée par un facteur de l'ordre de 100 puisque seulement 2 paires permettraient de connecter jusqu'à 200 abonnés au réseau.

Des équipements pour changer le type de modulation ainsi que le type de synchronisation devraient alors être prévus aux points de connexion avec les centraux locaux existants en attendant que le nombre de concentrateurs devienne suffisamment élevé pour justifier la transformation du central lui-même.

Il est bien sûr possible d'imaginer d'autres procédés, mais seule une étude méthodique de l'extension du réseau et de son économie montrera comment aborder au mieux le problème.

Dans le cas d'un réseau à construire entièrement, seules les interconnexions avec les autres réseaux poseraient des problèmes. Mais celles-ci étant peu nombreuses, les solutions, même coûteuses, peuvent alors être envisagées sans difficulté.

Problème du réseau militaire

Un cas particulier, cependant, le réseau militaire, mérite une attention particulière.

L'une des considérations les plus importantes dans ce cas est la mise en place du réseau. Le réseau peut couvrir une zone assez étendue et avoir des liaisons de plusieurs centaines de kilomètres établies par des moyens variés, dont certains ne présentent pas toujours une grande homogénéité des qualités de transmission. Ces moyens peuvent comprendre, en effet, des câbles multiconducteurs, des câbles coaxiaux, des liaisons radio, et autres qui doivent dans certains cas être connectés bout à bout.

Se posent alors des questions d'adaptation d'impédance et de niveau qui, avec les modulations classiques, ne peuvent être résolues de manière satisfaisante qu'en utilisant une liaison 4 fils d'un bout à l'autre de la transmission. Il serait même préférable de gérer la commutation en 4 fils pour éviter de nombreuses conversions entre circuits 2 et 4 fils. Avec la modulation par impulsions codées, ces problèmes subsistent mais sont simplifiés. Comme on l'a dit plus haut, cette modulation est efficace avec un rapport signal utile sur signal parasite de 6 décibels et permet de négliger les réflexions qui seraient inadmissibles avec des signaux à fréquence vocale.

Les problèmes de commutation sont particulièrement faciles à gérer avec la modulation par impulsions codées et il n'est plus nécessaire d'envisager des conversions entre systèmes 2 et 4 fils, toujours délicates.

La modulation par impulsions codées offre non seulement la possibilité d'un réseau intégré, mais résout le problème complexe par rapport aux systèmes conventionnels assurant une qualité de parole pratiquement indépendante de la longueur et de la qualité des connexions.

Transmission d'informations numériques

Il est désormais certain que dans le futur réseau téléphonique, les signaux pour transmettre des informations autres que la parole prendront de plus en plus d'importance. Déjà des appareils comme le Dataphone, mis sur le marché américain par Western Electric, permettent de tels échanges à bas débit. La modulation par impulsions codées est elle-même constituée d'informations de ce type transmises à très haut débit, 70 kilobauds pour une voie téléphonique échantillonnée à raison de 10 000 fois par seconde et pour une quantification à 128 niveaux correspondant à un code binaire à 7 chiffres.

Un réseau téléphonique intégré utilisant la modulation par impulsions codées sur une autoroute multiplex à 24 canaux doit permettre la transmission de données numériques à un débit de 2 mégabauds.

Comme cela a été mentionné précédemment, la nécessité de synchroniser les signaux à l'arrivée dans le central et de procéder de temps à autre à des réarrangements peut entraîner éventuellement des pertes d'informations.

Ces pertes sont absolument négligeables pour la téléphonie mais nécessitent néanmoins l'application d'une certaine redondance pour la transmission des informations numériques.

La redondance minimale requise sera déterminée par une étude systématique des pertes d'information dans les circuits de transmission ainsi que dans les circuits de commutation.

Néanmoins, sans paraître trop optimiste, des débits de l'ordre de 35 kilobauds pour un seul canal ou de 1 mégabaud pour le

l'ensemble d'une autoroute est envisageable. Celles-ci peuvent sembler plus grandes que nécessaires pour le moment mais elles peuvent être complètement utilisées par exemple dans le cas d'un traitement centralisé à longue distance de données numériques dans un ordinateur. Cette possibilité pourrait être offerte aux abonnés.

Conclusion

La modulation par impulsions codées permet de tirer le meilleur parti de l'introduction d'éléments électroniques dans les systèmes téléphoniques car elle donne une solution homogène au problème du réseau téléphonique pris dans son ensemble et non sous un seul aspect particulier. L'application de ce type de modulation à la commutation téléphonique nécessite de nouvelles techniques qui ont de nombreux points communs avec celles des calculateurs numériques, mais elle pose aussi des problèmes propres à la téléphonie, tels que la signalisation, le fonctionnement, et d'une manière plus générale ceux de l'organisation d'un réseau.

Nos travaux théoriques et expérimentaux ont illustré la possibilité d'une application pratique de cette modulation au téléphone public.

réseau dans un avenir pas trop lointain.

Les articles suivants traitant plus en détail de deux aspects de ce problème, la transmission et la commutation, donneront une idée plus précise de l'état actuel de nos développements.

Exposé 2 : Application de la modulation par impulsions codées à un réseau téléphonique intégré

de Jean Le Corre Laboratoire Central de Télécommunications.

Jean Le Corre est né à Guiler-sur-Goyen, France, le 24 août 1927. Il est diplômé en tant qu'ingénieur radio-électrique de l'Ecole Supérieure d'Electricité de Paris en 1950. En 1954, il entre au LCT Laboratoire Central de Télécommunications comme responsable du département commutation électronique et se consacre aux travaux de commutation téléphonique électronique.

Application de la modulation par impulsions codées à un réseau téléphonique intégré

1. Général

L'application de la modulation par impulsions codées à la commutation téléphonique conduit à examiner les 3 points principaux.

A - Conception d'un étage de commutation reliant les lignes d'abonnés à fréquence vocale à une autoroute multiplex à modulation par impulsions et codage.

B - Conception d'un étage de commutation pour interconnecter des autoroutes multiplex à modulation par impulsions et codage.

C - Synchronisation des signaux de parole codés et multiplexés à l'entrée de chaque central auquel ils sont transmis.

Lorsque ces 3 problèmes sont résolus, le développement des circuits de parole dans les différents types de centraux par lesquels un appel peut être acheminé est simple.

Le circuit de commande d'un central à modulation d'impulsions codées ne pose pas de problème particulier. Les interconnexions avec le circuit de parole seront facilitées par le fonctionnement en multiplex de ce dernier.

Le système expérimental, développé pour tester le fonctionnement du multiplexage par impulsions codées d'un système téléphonique qui sera décrit, utilisait un code à 7 chiffres avec un taux d'échantillonnage de 10 kilocycles par seconde pour fournir 24 canaux sur une base à 4 fils.

2. Circuit vocal

Deux types d'étages de commutation et les circuits de synchronisation seront examinés.

LIGNES D'ABONNÉS ET CONCENTRATEUR

L'étage de commutation connectant les lignes d'abonnés à une voie multiplex à impulsions codées peut se trouver dans un concentrateur à proximité des abonnés et à distance du central. Les 24 canaux du multiplex autoroutier permettent 24 conversations simultanées. Le nombre de lignes pouvant être desservies dépend de leur trafic ; pour un trafic moyen, environ 1 50 lignes d'abonnés peuvent être connectées à un concentrateur, 200 ou plus pour un trafic léger.

Circuit de parole

La figure 1 est une représentation simplifiée du concentrateur, qui est connecté au centre à 4 fils sur 2 paires téléphoniques.

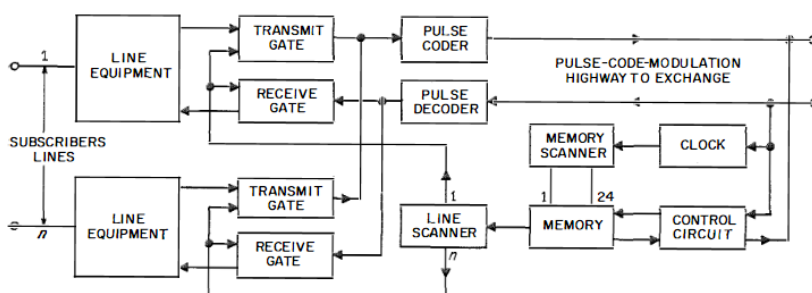


Figure 1—Concentrator for subscribers' lines.

Ces paires se terminent par un codeur et un décodeur.

Sous le contrôle du scanner de ligne, chaque ligne d'abonnés actifs, jusqu'à 24 en nombre, sera connectée pendant des intervalles de temps de 4 microsecondes au codeur et au décodeur, donnant à cet abonné l'accès au central.

Les identités des abonnés en conversation sont enregistrées dans une mémoire comportant une ligne pour chacune des 24 connexions possibles. Chaque ligne mémoire enregistrera 8 chiffres pour identifier sous forme codée l'un quelconque des 255 abonnés.

Toutes les 100 microsecondes, à l'instant t_n correspondant à la connexion n , la ligne n de la mémoire est lue.

L'identité de l'abonné à connecter est transmise à un line scanner, appelé matrice de décodage, dont chaque sortie commande les 2 portes associées à un abonné.

Les signaux continus correspondant à l'état de la ligne (combiné raccroché ou décroché), ainsi que les signaux de numérotation, sont transmis par le même chemin que les signaux vocaux.

2.1.2 Circuit de commande

Il est économique de n'effectuer dans le concentrateur que le minimum de fonctions logiques, puisqu'elles peuvent être remplies dans le central par des circuits communs à plusieurs concentrateurs.

Les seules fonctions requises du concentrateur sont l'établissement et la libération d'une connexion entre un abonné et un canal donné. Ces commandes sont réalisées dans le concentrateur en écrivant ou en effaçant des informations sur une ligne mémoire.

Pour le passage des informations entre le circuit de commande du concentrateur et le central, on utilise le même canal que celui pour la parole.

Pour connecter un abonné à un canal, le central envoie le code de cet abonné au concentrateur, aux heures de scrutation affectées au canal. Le circuit logique du concentrateur teste la ligne de l'abonné (libre ou occupée) en s'assurant que le code de l'abonné n'est pas déjà écrit sur une des lignes mémoire, envoie les informations correspondantes au central et établit la connexion si l'abonné appelé est libre.

Pour la libération d'une connexion, le central envoie un code de libération au concentrateur à l'heure de scrutation attribuée à la connexion à libérer.

Comme les informations numériques peuvent être transmises entre concentrateur et central à un rythme de 70 000 chiffres binaires par seconde pour chaque canal, la transmission des commandes peut être effectuée avec une grande redondance assurant un contrôle à distance très fiable du concentrateur.

La détection d'un abonné appelant est commandée depuis le central. Grâce au circuit de commande et à la mémoire du concentrateur, le scanner de ligne est conçu pour connecter chaque abonné au central via un canal libre, un après l'autre, assurant ainsi la connexion de tous les abonnés à un circuit de détection d'appel, qui connaît alors l'état de chaque ligne et peut reconnaître un nouvel abonné appelant. Toutes les lignes sont testées environ 4 fois par seconde.

2.1.3 Équipement de ligne

L'équipement propre à chaque ligne d'abonné mérite une attention particulière.

Son influence à la fois sur le coût et sur le volume de l'ensemble de l'équipement est très importante ; les autres appareils du concentrateur sont communs à tous les abonnés.

Une solution, un agencement à 4 fils de l'équipement de ligne, est donnée à la figure 2.

L'utilisation de concentrateurs réduisant considérablement la longueur des lignes d'abonnés, l'utilisation de lignes à 4 fils peut devenir possible, permettant ainsi une simplification du poste d'abonné (circuit antisidetone) et de l'équipement de la ligne d'abonné.

Comme l'échantillonnage se fait à travers 2 grilles différentes, 1 pour chaque direction, ces grilles sont de conception simple n'utilisant qu'un transistor de type allié par grille.

La porte d'émission fonctionne à un niveau bas compatible avec un niveau de diaphonie correct. Un amplificateur de fréquence vocale à transistor unique suivant la porte de réception lui permet de fonctionner à un niveau équivalent à celui de la porte d'émission. La commande de ces vannes est ainsi simplifiée.

L'utilisation d'une fréquence d'échantillonnage relativement élevée de 10 kilohertz permet une conception simple des circuits de filtrage.

Les 2 paires de la ligne d'abonné se terminent par 2 transformateurs permettant le transfert de circuits 2 fils côté sous-ensemble vers des circuits 1 fil côté concentrateur.

La tension moyenne des signaux envoyés au codeur est de -6 volts lorsque le récepteur du sous-ensemble est décroché. Dans cet état, la diode reliée au -6 volts est passante. La tension tombe à environ 0 lorsque le récepteur est accroché.

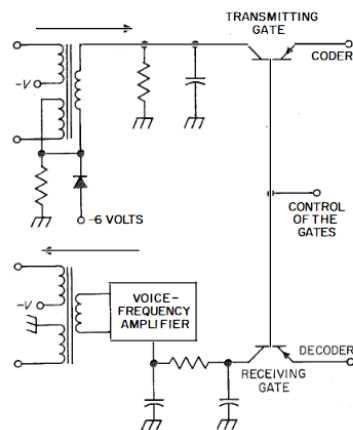


Figure 2—The 4-wire solution of the subscribers' line equipment.

De nombreuses autres solutions sont possibles pour le type d'équipement de ligne décrit.

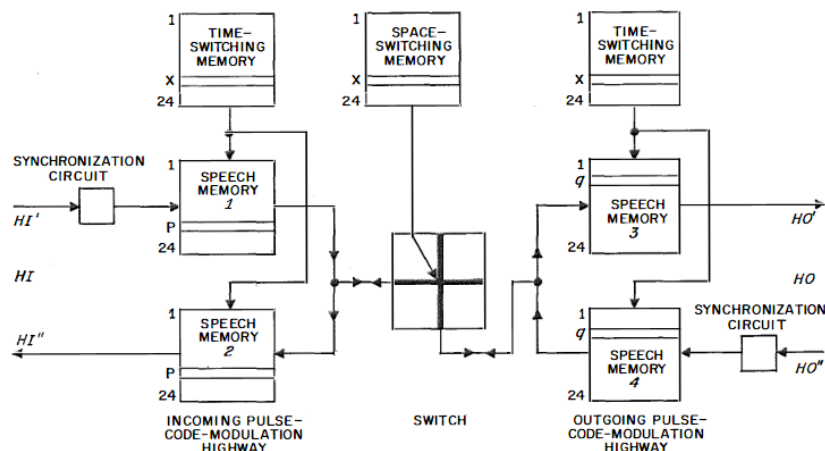
En particulier, le remplacement de chaque transformateur par un circuit symétrique à 2 transformateurs à fréquence vocale.

Les deux solutions peuvent être envisagées. Ces transistors, déjà peu coûteux, permettent de réduire le volume de l'équipement.

Dans le cas de lignes d'abonnés 2 fils, l'utilisation d'un transformateur différentiel pour le transfert de 2 à 4 fils semble être la solution la plus économique. L'échantillonnage de la conversation se fait alors par 2 portes différentes comme dans le cas d'une ligne 4 fils.

Une sonnerie à fréquence vocale avec amplification dans le poste d'abonné est nécessaire pour que les signaux de sonnerie puissent être transmis via le circuit de parole.

Figure 3—Switching stage between incoming highways through coupled outgoing highways.



2.2 ETAPE DE COMMUTATION ENTRE PULSE-CODE AUTOROUTES MULTIPLEXES

Tout central à modulation par impulsions et codage sera connecté à d'autres centraux ou concentrateurs par des autoroutes multiplex.

Les liaisons entre les différentes voies de ces autoroutes sont réalisées par un étage de commutation reliant les autoroutes dites entrantes aux autoroutes dites sortantes. Une description de cette étape de commutation a été donnée dans la partie 1 de cet article.

La figure 3 montre, de manière simplifiée, les éléments agissant dans une connexion entre une autoroute multiplex entrante HI et une autoroute sortante HO.

2.2.1 Commutation spatiale

Un étage de commutation spatiale ayant autant d'entrées et de sorties qu'il y a, respectivement, d'autoroutes entrantes et sortantes, fonctionne en division temporelle. Pendant l'un quelconque des 24 intervalles de temps de 4 microsecondes répétés chacun toutes les 100 microsecondes, il peut connecter n'importe quelle entrée à n'importe quelle sortie et les connexions réalisées peuvent avoir n'importe quelle configuration.

Dans les 4 microsecondes pendant lesquelles une entrée est connectée à une sortie, 2 échantillons de parole codés relatifs à une conversation sont transmis, 1 dans chaque sens.

Les 7 chiffres d'un échantillon sont transmis successivement dans le temps. La rapidité du commutateur permet, pendant les 0,5 microsecondes allouées à un chiffre, de transmettre 1 bit d'information dans chaque sens. Le contrôle des connexions dans le commutateur est effectué à partir d'une mémoire à commutation spatiale. Une de ces mémoires comportant 24 rangées est attribuée à chaque autoroute entrante.

Pendant 1 des 24 intervalles de temps, t_m par exemple, la ligne x de cette mémoire est lue. Sur cette ligne est inscrite l'identité codée de la sortie à raccorder à l'autoroute entrante ; une matrice de décodage contrôle le point de croisement correspondant à la sortie.

2.2.2 Commutation temporelle

Chaque voie, entrante HI et sortante HO, est équipée de 2 mémoires de parole, une pour l'émission et une pour la réception, et d'une mémoire de commutation temporelle.

Par exemple, les signaux de parole codés arrivant au central sur HI' sont écrits sur la mémoire de parole 1 par l'intermédiaire du circuit de synchronisation.

Les 7 chiffres du canal 1 sont écrits sur la ligne 1 de la mémoire, ceux du canal 2 sur la ligne 2, etc.

Les circuits de synchronisation nécessaires à cette opération seront décrits ultérieurement.

Les signaux de parole codés sortant de l'échange sur HI'' sont extraits de la mémoire de parole 2.

A l'instant t_{11} l'information correspondant au canal 1 est lue en ligne 1 ; à t_2 , du canal 2 ; etc.

La lecture de la mémoire vocale 1 et l'écriture dans la mémoire vocale 2 sont commandées par une mémoire à commutation temporelle similaire dans son fonctionnement à la mémoire à commutation d'espace. Si, par exemple, au temps t_x , le canal p de l'autoroute entrante est géré par l'étage de commutation, l'identité codée de la ligne p est écrite dans la ligne x de la mémoire de commutation temporelle entrante.

La lecture à l'instant t_m de cette ligne de la mémoire à commutation temporelle entrante provoque la lecture de la ligne p de la mémoire de parole 1, les codes de parole qui y sont enregistrés sont transmis à travers le commutateur vers l'autoroute sortante, et provoque également l'écriture de l'information venant du commutateur à la rangée p de la mémoire vocale 2.

L'équipement de l'autoroute sortante fonctionne de la même manière que celui de l'autoroute entrante.

Ce type d'étage de commutation permet ainsi de traiter une conversation à l'intérieur du central à un instant totalement indépendant de son cadencement sur les autoroutes entrantes et sortantes. En principe, cela peut s'appliquer à tout type d'échange multiplex à impulsions codées du réseau local. Mais, comme on le verra plus loin, une simplification sensible des équipements dévolus à une autoroute est possible dans de nombreux cas.

L'établissement d'une conversation par l'étage de commutation implique l'alignement des positions temporelles sur les autoroutes concernées.

Considérons, par exemple, une connexion qui doit être établie entre le canal p de la route entrante HI et le canal q de la route sortante HO. Le circuit de repérage de l'étage de commutation commence la recherche d'une position temporelle libre simultanément sur l'entrée de l'étage de commutation HI et sur la sortie H 0.

Soit un temps libre. La connexion est alors établie en écrivant, sur la ligne r des 3 mémoires de commutation, les informations suivantes :

Code pour le canal p m la mémoire de commutation horaire entrante.

Code pour le canal q 111 la mémoire de commutation horaire sortante.

Code pour l'autoroute sortante 111 la mémoire de commutation d'espace.

La libération de la connexion se fait par effacement de ces informations.

Dans certains types d'échanges, il est nécessaire de réaliser des liaisons entre autoroutes entrantes ou entre autoroutes sortantes.

C'est particulièrement le cas d'un central local dont les autoroutes entrantes desservent des concentrateurs. Le trafic local entre abonnés ne nécessite des connexions entre les autoroutes entrantes. Ces connexions sont réalisées par des autoroutes locales HL, chacune composée de 2 autoroutes sortantes couplées HOA et HOB, comme illustré à la figure 4.

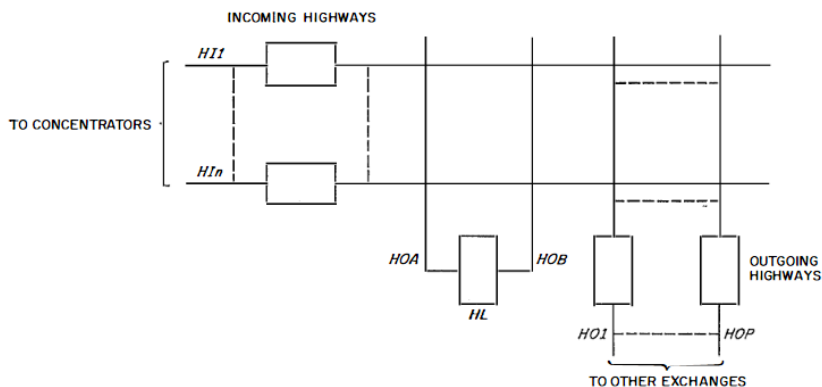


Figure 4—Highway diagram.

2.2.3 Équipement routier simplifié

L'équipement de mémoire associé à chaque autoroute de multiplexage par impulsions codées à l'entrée du central peut être simplifié dans de nombreux cas.

Si les lignes des abonnés sont connectées directement au central, l'organisation générale des étages de commutation interconnectant ces abonnés aux autoroutes multiplex à impulsions codées reste la même que celle du concentrateur représenté sur la figure 1.

Pour une autoroute à impulsions codées desservant un groupe d'abonnés, il est alors possible de connecter directement les sorties du codeur et du décodeur d'impulsions à l'entrée du commutateur. Aucune mémoire de la parole n'est nécessaire ; la mémoire d'identité des abonnés en conversation a le même but vis-à-vis du circuit de commande du central que la mémoire de commutation temporelle entrante de la figure 3.

L'équipement d'une autoroute multiplexe desservant un concentrateur distant peut également être réduit.

Par rapport au cas précédent, où le stade de raccordement aux abonnés était en central, il suffit de compenser les temps de propagation entre le central et le concentrateur. Pour cela, un retard supplémentaire est ajouté en entrée du central aux informations provenant du concentrateur de manière à ce que le retard total soit un multiple de 100 microsecondes. Ce délai supplémentaire peut être fourni par une mémoire matricielle du même type que les mémoires de parole ou par une mémoire de circulation telle qu'une ligne à retard.

Une simplification est également possible pour les autoroutes locales telles que celles illustrées à la figure 4. Les 2 autoroutes multiplex à impulsions codées constituant cette autoroute locale l'autoroute ne nécessite qu'un seul équipement de commutation horaire (2 mémoires de parole et 1 mémoire de commutation horaire).

On peut noter qu'une voie de multiplexage à impulsions codées reliant 2 centraux à impulsions codées du type représenté sur la figure 3 comporte dans chaque sens de transmission 2 mémoires de parole, 1 dans le central émetteur et l'autre dans le central récepteur.

Comme on l'a vu, cette conception permet une indépendance complète des 2 centraux et des circuits de transmission.

L'effacement de 1 mémoire est possible à condition que certaines conditions soient remplies entre les circuits de contrôle des centraux.

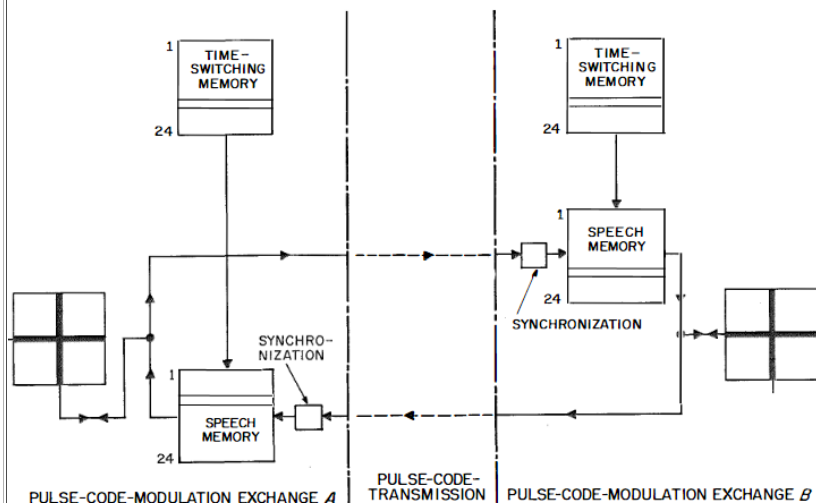


Figure 5—Highway connecting 2 pulse-code multiplex exchanges.

La figure 5 montre une conception possible.

Une seule mémoire de parole est placée dans chaque central à l'entrée des informations, ce qui permet une synchronisation aisée.

Considérons un appel passant du central A au central B. La position temporelle choisie par le central A pour traiter l'appel sera utilisée pour le sens de transmission de A vers B.

Si le central B doit utiliser une heure différente pour cette même communication, il doit informer le central A du changement afin que A puisse procéder au décalage horaire souhaité pour les informations provenant du central B.

Si, dans la suite du routage de l'appel, des modifications de connexion sont nécessaires dans le central B comme en fin de numérotation, pour des problèmes de routage, etc., le central A doit être informé de ces modifications.

Ainsi l'économie de mémoires de parole nécessite des échanges d'informations supplémentaires entre centraux.

2.3 ÉQUIPEMENT DE SYNCHRONISATION

Le principe des circuits de synchronisation a été décrit dans le premier article.

Le problème consiste à écrire les signaux de parole codés des 24 canaux d'une autoroute multiplex codée par impulsions à leur place correcte dans la mémoire de parole associée à la voie haute à l'entrée du central.

Ces signaux peuvent subir des fluctuations temporelles du fait des imperfections des circuits de transmission et des différences de fréquences des horloges des centraux.

La figure 6 montre les circuits assurant la synchronisation des informations.

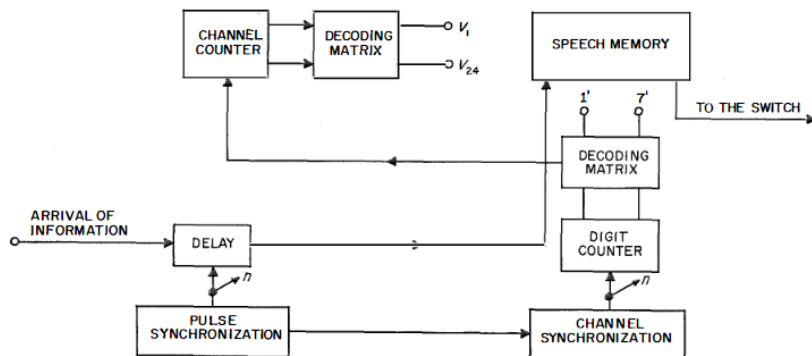


Figure 6—Synchronization circuits.

L'écriture et la lecture d'informations dans la mémoire de parole se font successivement. Le temps imparti à un chiffre de 0,5 microseconde est divisé en 4 temps élémentaires, le premier étant affectée à l'écriture dans la mémoire, la troisième à la lecture, les deux autres servant à sélectionner les points à écrire ou à lire.

Les bribes d'information arrivent dans le central à tout moment ; il faut d'abord les fixer individuellement dans les temps avant de les écrire à leur place dans la mémoire. Ceci conduit à diviser les circuits de synchronisation en deux parties.

2.3.1 circuit de synchronisation d'impulsions

L'information entrante est retardée d'un temps variable inférieur à $r = 0,5$ microseconde pour arriver à l'entrée de la mémoire au temps élémentaire prévu.

Le retard, qui est produit par des bascules, varie de manière discontinue et peut prendre les 4 valeurs suivantes : 0, $r/4$, $r/2$ et $3r/4$.

Le réglage du retard est effectué par un circuit de synchronisation d'impulsions commun à plusieurs voies multiplex. Ce circuit continuellement vérifie le délai de chaque autoroute. Pour ce faire, il compare l'heure d'arrivée de l'information sur une autoroute à celle des impulsions temporelles délivrées par l'horloge d'échange puis en estime le retard nécessaire sur cette autoroute.

Lorsque le retard sur une route donnée passe de $3r/4$ à r , les circuits d'adressage pour écrire l'information dans la mémoire sont modifiés et le retard introduit dans l'autoroute est remis à 0.

De même, lorsque le retard est 0 et que l'information arrive trop tôt, les circuits d'adressage de la mémoire sont modifiés et un délai de $3r/4$ est introduit sur l'autoroute.

2.3.2 Circuits de synchronisation des canaux

L'adresse du point mémoire où l'information doit être écrite, à un instant donné, est issue de 2 compteurs ; 1 compte par 8 et donne l'identité de la colonne de la mémoire et l'autre compte par 25 et donne l'identité de la ligne de la mémoire.

Ces compteurs fonctionnent avec un certain décalage temporel par rapport à l'horloge du central.

Ceci correspond au décalage du canal de synchronisation par rapport à l'heure locale t_{25} . Un circuit de synchronisation de canal commun à plusieurs voies multiplex fonctionne également en division temporelle. Il est successivement relié à toutes les autoroutes multiplex et remplit deux fonctions.

Il vérifie la bonne synchronisation des 2 compteurs de la manière suivante. Lorsque le compteur de canal atteint le décompte de 25, il vérifie que les informations entrantes sont conformes au code de synchronisation. Une décision n'est prise qu'après 3 vérifications successives pour éviter la possibilité d'une erreur due aux circuits de transmission.

Les compteurs sont resynchronisés lorsque leurs phases sont erronées.

Il modifie l'adressage des informations en mémoire lorsque le circuit de synchronisation des impulsions doit faire passer le retard de $3r/4$ à 0 ou inversement. Cette modification consiste à avancer ou reculer d'une unité de temps le compteur numérique de l'autoroute concernée.

Les problèmes de synchronisation sont plus simples lorsque les horloges des 2 équipements de commutation reliés par une autoroute multiplex sont synchronisées. Les liaisons entre concentrateurs et centraux sont de ce type. La synchronisation du concentrateur consiste à positionner correctement les compteurs par rapport au canal de

synchronisation, et alors aucun délai n'est nécessaire.

3. Évaluation de l'amélioration possible du trafic dans l'efficacité des autoroutes

3.1 TRAFIC POSSIBLE PAR ALIGNEMENT DE POSITION HORAIRE

L'établissement d'une connexion à travers un central nécessite, comme indiqué en 2.2.2, l'existence d'une position horaire simultanément libre sur l'entrée et sur la sortie connecter. Par conséquent, un certain blocage interne se traduit dans tous les systèmes de commutation par répartition dans le temps. Des calculs ont été effectués sur le trafic possible sur les autoroutes à multiplexage temporel [3-5] .

Dans le cas des autoroutes multiplex à 24 canaux, le trafic possible sur une autoroute est d'environ 12 erlangs, admettant 1 appel perdu sur 100. L'efficacité correspondante des autoroutes est de 50 %.

A titre d'exemple, considérons un trafic moyen par abonné à l'heure chargée de 0,1 erlang.

Chaque concentrateur peut alors desservir 120 abonnés. Un central local de 9 000 abonnés interconnectera 75 autoroutes entrantes en provenance des concentrateurs et 75 autoroutes sortantes allant vers d'autres centraux ou desservant le trafic local.

L'élimination du blocage interne dû au désalignement de la position temporelle est possible en appliquant une opération de réarrangement [6, 7] .

3.2 PRINCIPE DE RÉARRANGEMENT

Si l'on considère, dans un étage de commutation entre voies multiplex à impulsions codées, une connexion à établir entre une voie entrante HI n'ayant que la position temporelle tx libre et une voie sortante HO n'ayant que la position temporelle fy libre, le problème ne peut être résolu sans réarrangement.

Un réarrangement est alors effectué en libérant la connexion qui occupe la position temporelle tx de HO, ce qui permet d'établir la connexion souhaitée, puis en rétablissant la connexion qui vient d'être libérée à la position temporelle ly. Ce rétablissement peut éventuellement nécessiter de libérer une autre connexion, qui sera elle-même rétablie à une autre position temporelle, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'un chemin libre soit trouvé pour chaque connexion.

TABLE 1 SUCCESSIVE ARRANGEMENTS														
A			B			C			D			E		
	tx	ty		tx	ty		tx	ty		tx	ty		tx	ty
1	b	d	1	b	d	1	b	d	1	b	d	1	d	b
2	a	e	2	a	e	2	a	e	2	a	e	2	a	e
3	d	e	3	d	e	3	d	e	3	e	d	3	e	d
4	a	c	4	a	c	4	a	c	4	a	c	4	a	c
5	e	c	5	e	c	5	e	c	5	c	e	5	c	e

Prenons, par exemple, un commutateur 5 par 5 interconnectant les entrées 1, 2, 3, 4, 5 aux sorties a, b, c, d, e. Chaque entrée et chaque sortie desservent 1 autoroute multiplex codée par impulsions (voir Figure 3).

La colonne A du tableau 1 montre les connexions entre les entrées et les sorties pendant tx et ty, 2 des 24 positions horaires.

A l'instant fx, l'entrée 1 est reliée à la sortie b, l'entrée 2 est libre, l'entrée 3 est reliée à la sortie d, etc. ; à l'instant ty, l'entrée 1 est reliée à la sortie d, etc.

Supposons qu'une nouvelle connexion soit à établir entre l'entrée 4 libre à l'instant fy et la sortie c libre à l'instant tx, cette sortie n'étant reliée à aucune entrée à cet instant.

La connexion 4-c ne peut se faire sans modification des connexions déjà établies.

La connexion 5-c existant à l'heure ty est libérée. Cette modification rend possible la connexion 4-c à l'instant ty. La colonne B montre les connexions qui sont ensuite établies.

La connexion 5-c est alors rétablie à l'instant tm en libérant la connexion 5-c, elle-même rétablie à l'instant fy en libérant la connexion 3-e (tableau 1, colonne C) .

Le même processus, consistant à permuter les positions temporelles tx et ty pendant lesquelles 2 connexions sont établies, est poursuivi.

Les liaisons 3-e et 3-d sont permutées dans le temps, la liaison 1-d étant libérée (ColonneD).

Les connexions 1-b et 1-d sont permutées (colonne E).

Le rétablissement de la connexion 1-b à l'instant fy ne nécessite aucune libération, la sortie b étant libre à l'instant ty. Le réarrangement des connexions est terminé.

Le processus qui vient d'être décrit peut être généralisé pour n'importe quel centre de taille. On montre facilement que le nombre de permutations de connexion reste toujours inférieur au nombre d'entrées ou de sorties du central.

Des calculs ont été effectués sur le nombre moyen de connexions qui doivent être modifiées afin d'en établir une nouvelle pour différentes tailles d'étages de commutation multiplex. Ce nombre est relativement faible ; dans les cas les plus pessimistes, il faut modifier en moyenne une conversation pour en établir une nouvelle.

L'application de la méthode de réarrangement n'introduit aucun équipement supplémentaire dans les circuits de parole d'un central à modulation d'impulsions codées ; seule une légère augmentation est nécessaire dans les équipements de marqueur.

Lorsque les connexions entre les centraux de modulation par impulsions et codage sont conçues comme dans la Figure 5 (1 mémoire de parole dans chaque central ; voir paragraphe 2.2.3) , toute permutation de temps sur une autoroute requise par 1 central pour un réaménagement doit être portée à la connaissance du central correspondant.

Par contre, si les autoroutes sont équipées de 2 mémoires de parole, comme sur la figure 3, les réarrangements se font indépendamment à chaque central.

3.3 TRAFIC POSSIBLE PAR RÉAMÉNAGEMENT

Étant donné que la méthode de réarrangement élimine le blocage interne dans les étages de commutation entre les autoroutes multiplex à impulsions codées, l'efficacité de ces autoroutes dépend uniquement de la quantité de trafic traité dans une direction.

Une autoroute reliant un concentrateur à un central constitue un tronc de 24 canaux, qui peut gérer un trafic d'environ 1 5 erlangs, permettant 1 appel perdu sur 100.

En supposant un trafic de 0,1 erlang par abonné à l'heure chargée, le concentrateur pourrait desservir 150 abonnés. Un central local de 9000 lignes aurait dans ces conditions 60 autoroutes entrantes.

L'efficacité des autoroutes sortantes traitant le trafic total, soit 900 erlangs, dépend du nombre de directions dans lesquelles ce trafic est traité. On peut s'attendre à des rendements de l'ordre de 80 %, ce qui conduit à 47 autoroutes multiplex sortantes à impulsions codées.

On rappellera que dans le cas d' un central fonctionnant par alignement horaire (paragraphe 3 . 1) ayant le même nombre de lignes et traitant le même trafic, 75 autoroutes entrantes et 75 autoroutes sortantes étaient nécessaires.

La méthode de réarrangement permet donc une importante économie d'équipement, tant du point de vue de la transmission que du point de vue de la commutation.

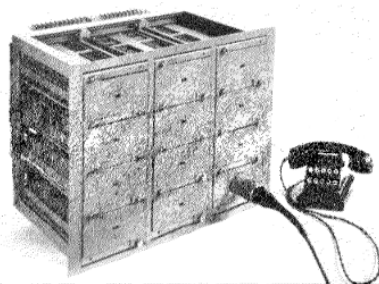
L'amélioration de l'efficacité des autoroutes est possible par d'autres méthodes que celle décrite.

Notamment, l'augmentation de vitesse des éléments électroniques permet d'envisager de multiplexer un plus grand nombre de voies sur les entrées et sorties de l'étage de commutation spatiale ; par exemple 48 au lieu de 24. Le blocage dû à l'alignement temps-position est alors diminué.

4. Modèle de concentrateur

Des travaux théoriques et expérimentaux ont conduit à la construction de modèles de test d'un concentrateur et d'un central à de modulation par impulsion-code.

Figure 7—Experimental concentrator equipped for 28 subscribers' lines.



Le modèle du concentrateur est illustré à la figure 7.

Les équipements communs aux abonnés ; codeur, décodeur, mémoire et circuits de contrôle, a été construit comme pour un véritable concentrateur, et 28 lignes d'abonnés ont été équipées.

Un concentrateur desservant 150 lignes d'abonnés n'aurait que le volume légèrement supérieur de 0. 1,5 mètre cube (5,6 pieds cubes) .

Le modèle de l'échange multiplex à impulsions codées dispose de 2 autoroutes entrantes multiplexées à impulsions codées, l'une pouvant être connectée au concentrateur, le second desservant 3 registres et un poste d'opérateur, et 3 autoroutes multiplex sortantes à impulsions codées, dont 2 sont associées pour former une autoroute locale.

Ces autoroutes sont entièrement équipées de mémoires de parole et de commutation. La conception de l'étage de commutation est conforme à la Figure 3 .

Le circuit de commande serait adapté à un central de plusieurs milliers de lignes d'abonnés en ce qui concerne ses éléments essentiels.

Le circuit de commande d'un central à modulation d'impulsions et de codage est plus simple que celui d'un central ayant un circuit vocal à répartition spatiale. En effet, toutes les informations inscrites dans les mémoires de commutation du circuit de parole d'un central impulsif codé sont accessibles au circuit de commande.

Ce dernier ne nécessite alors que très peu de mémoires. De plus, le transfert d'informations entre les circuits de parole et de contrôle s'effectue avec seulement quelques éléments d'interconnexion du fait du fonctionnement en multiplex du circuit de parole et de la nature numérique des signaux qu'il achemine.

Le modèle nécessitait des circuits logiques élémentaires ayant des performances relativement rapides : temps de réponse < 0,1 microseconde. Des transistors rapides et des diodes ont été utilisés.

Les points de stockage dans les mémoires de parole utilisent un condensateur associé à 2 diodes, ce condensateur étant chargé ou non selon que l'information à écrire est 1 ou 0.

5. Perspectives

Les modèles de commutation qui ont été construits ont permis de vérifier la validité des solutions "aux problèmes rencontrés dans l'application de la modulation par impulsions codées à la commutation téléphonique.

Du point de vue de la commutation, les avantages sont des diminutions très importantes du volume, du poids et de la consommation électrique des équipements ; et une très grande souplesse de fonctionnement.

L'utilisation du même type de modulation pour la transmission et la commutation présente, parmi de nombreux avantages, un échange très facile d'informations de supervision entre les centraux qui permet de localiser les concentrateurs de lignes d'abonnés de manière pratique près des abonnés et éloignés du central.

Les très grands progrès réalisés ces dernières années tant sur les performances que sur le coût des techniques numériques rapides permettent aujourd'hui d'envisager des solutions de modulation par impulsions codées compétitives par rapport aux conceptions classiques.

Il est très probable que même dans un proche avenir, la situation s'améliorera encore.

6. Références

1. P. Mornet, "Application de la modulation par impulsions codées à un réseau téléphonique intégré : **Partie 1** , Advantages of Pulse-Code Modulation," Electrical Communication, volume 38, numéro 1 , pages 23-31 ; 1963.
2. A. Chatelon, "Application de la modulation par impulsions codées à un réseau téléphonique intégré : partie 2, transmission et codage", Communication électrique, volume 38, numéro 1, pages 32-43 ; 1963.
3. S. Van Mierlo et H. H. Adelaar, "[Système de télécommunications](#)", [brevet français 1 108 100 ; novembre 1953](#).(voir le brevet en ligne)
4. H. H. Adelaar et D. G. N. Hunter, "Use of 'Stantec Zebra' to Calculate a Traffic Table for a Three-Link Time-Division-Multiplex Telephone Exchange", Electrical Communication, volume 36, numéro 3, pages 189-196 ; 1960.
5. L. R. F. Harris, « Time Sharing as Basis for Electronic Telephone Switching », Actes de l'Institution of Electrical Engineers, volume 103, partie B, pages 722-742 ; mars 1956.
6. E. Touraton et J. P. Le Corre, « Commutation entre Voies de Communication Multiplex », Brevet français 1 212 984 ; Octobre 1958.
7. J. G. Dupieux, J. P. Le Corre et P. Seneque, "Etage de Commutation en Multiplex clans le Temps et ses Circuits de Commande As Qocies", demande de brevet français 1 313 830 ; Novembre 1961 .

Au printemps 1963, le projet **PLATON** est lancé avec pour objectif, la réalisation d'une maquette prouvant la faisabilité d'un réseau de connexion temporel y compris le CODEC. Le responsable du projet est André Pinet.

André Pinet, le chef de projet possède une bonne expérience dans des domaines variés, y compris sur la commutation. Sur le numérique il a été un pionnier en ayant travaillé sur le codage PCM (Pulse Code Modulation), dès 1947, dans la ligne de l'invention d'Alec Reeves en 1938 au laboratoire LMT de Paris, puis dans une deuxième étape à partir de 1958, au moment où on peut utiliser des transistors pour faire des réalisations expérimentales. Il est un chef de projet pragmatique qui donne des objectifs intermédiaires et fait des choix pouvant être révisés plus tard, en fonction de la disponibilité de nouveaux composants .

Les responsables ont pleinement conscience des difficultés à surmonter pour programmer une machine chargée de toutes les opérations d'un centre de commutation (dont toute une partie exigeant le temps réel) et savent que les énormes moyens mis en œuvre par les « Bell Labs » pour y parvenir ne sont pas mobilisables au sein du C.N.E.T. ou de SO.CO.TEL. C'est pourquoi L. J. Libois souhaite qu'on cherche une solution amenant à une programmation moins lourde et moins onéreuse.

L'architecture de la commande centrale a fait l'objet de choix contrastés, entre commande centralisée dans de gros calculateurs et commande distribuée qui électronise en quelque sorte les équipements à logique à relais. En ce qui concerne la redondance, les Bell Labs ayant fait le choix du microsynchronisme entre deux calculateurs (qui comparent leurs registres après l'exécution de chaque instruction et redémarrent en cas de différence), la plupart des autres centres de R&D les ont suivis.

Le CNET de Lannion, par contre a préféré le partage de charge entre calculateurs (les appels sont répartis entre les calculateurs), car si le microsynchronisme détecte immédiatement les défauts hardware, le partage de charge protège mieux des fautes software. Celles-ci conduisent en effet à un redémarrage complet en microsynchronisme (donc à un arrêt temporaire du service), alors qu'en partage de charge, la faute ne se manifeste que dans un seul ordinateur : celui-ci va redémarrer, mais l'autre sera capable de continuer à traiter les appels, assurant ainsi la continuité du service.

Après des travaux préliminaires en 1962, A.Pinset fixe en 1963 l'**objectif d'une maquette** de laboratoire complète pour 1965 avec certaines simplifications, largement en deçà de l'objectif final. Ainsi il choisit d'assurer la **connexion temporelle** avec des signaux de parole modulés en PAM (Pulse Amplitude Modulation) de façon à attendre les premiers circuits intégrés, qui sont annoncés par les fabricants de semi-conducteurs, notamment Texas Instruments.

Un autre choix effectué en 1963 est celui du **multiplexage à 32 voies**, dicté par une vision d'avenir du « tout binaire », alors qu'américains et japonais travaillent sur la base de 24 voies, suivant une vision conservatrice venant du multiplexage de voies analogiques. Ce choix du 32 voies, validé par la Direction Générale des Télécommunications, est proposé à l'ensemble des administrations européennes via la CEPT. L'accord européen sur cette norme sera obtenu en fin 1968 et l'UIT en 1969 reconnaît les deux normes européennes et américaines. La reconnaissance mondiale de cette norme conforte le CNET Lannion dans ses choix pour aller vers la **réalisation d'un réseau numérique complet**.

MULTIPLEXAGE RAPPEL : Voici quelques informations essentielles sur l'utilisation des techniques numériques en téléphonie à propos du multiplexage 32 voies appelé par la suite **système MIC (Modulation par Impulsion et Codage)**.

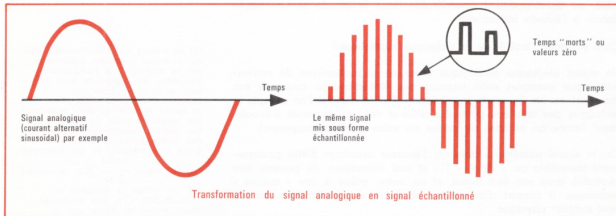
Le théorème d'échantillonnage de Nyquist stipule qu'un signal analogique à bande passante limitée peut être représenté pratiquement parfaitement si le signal est échantillonné à une fréquence de deux fois la bande passante. Un signal vocal est considéré comme ayant une bande passante d'environ 3 kHz (300 Hz à 3 400 Hz) et donc, en principe, pourrait être représenté par une séquence d'impulsions résultant d'un échantillonnage à environ 6 kHz. Des considérations pratiques dictent cependant l'utilisation d'une fréquence d'échantillonnage plus élevée et en téléphonie 8 kHz est devenu la norme. L'amplitude des impulsions échantillonnées est quantifiée (logarithmiquement) et représentée par un nombre binaire à huit chiffres, sept chiffres indiquant le niveau et le huitième le signe. Un canal téléphonique numérisé est alors un flux binaire de 64 dans chaque sens. Le simple remplacement d'un canal analogique par un canal numérique offre très peu d'avantages mais l'approche numérique permet l'utilisation du multiplexage temporel (TDM) et il est possible de multiplexer jusqu'à 30 canaux, formant un flux binaire de 2Mb/s.

- Étape 1 : Échantillonnage.

C'est un peu le même principe que le cinéma 24 photos par seconde suffisent pour tromper l'œil et voir la scène avec une bonne fluidité.

En téléphonie classique avec des téléphones basiques qui existent depuis l'invention du téléphone, les signaux analogiques vocaux (ainsi que les tonalités transmises) d'une conversation en cours entre deux abonnés sont tout d'abord échantillonnés à la fréquence de 8.000 Hz. (Un échantillon vocal est prélevé et mesuré toutes les 125 μs. Ceci signifie que l'on effectue 8.000 mesures de tension à chaque seconde.)

Un tel échantillonnage permet de pouvoir reconstituer à chaque extrémité de la chaîne de commutation et de transmission les conversations de manière fidèle jusqu'à une fréquence maximale audible de 4.000 Hz, limite suffisante pour reconstituer des conversations en cours qui soient compréhensibles. L'échantillonnage est en fait une approximation d'un signal analogique dans le temps.



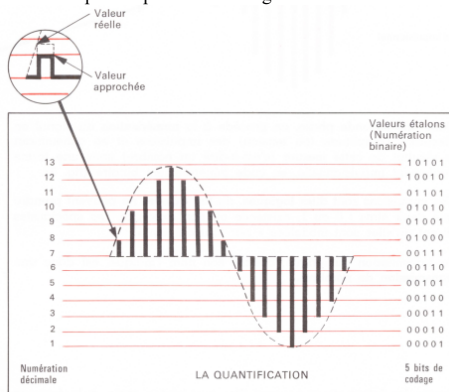
- Étape 2 : Quantification.

Une fois les échantillons vocaux prélevés toutes les 125 μs, il est nécessaire de procéder à une seconde approximation : l'approximation en niveau de tension.

En effet, un signal analogique étant susceptible de prendre une infinité de valeurs entre une tension A et une tension B, cet aspect impose de réduire les valeurs de tensions possibles de ces échantillons en un nombre limité de valeurs-étalons. La valeur de sortie de l'étape de quantification est la valeur-étalon de référence la plus proche de la valeur réelle de la tension d'échantillonnage d'entrée.

Il a été retenu, en norme téléphonique, que les niveaux de tensions échantillonnées seraient compris entre 256 niveaux de tensions différents (256 valeurs-étalons). (Chaque échantillon est donc systématiquement arrondi en une valeur numérique comprise entre une valeur comprise entre 0 et 255.)

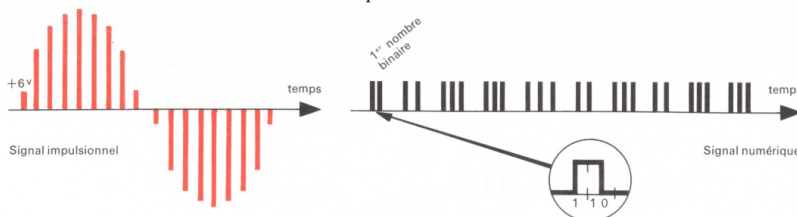
Une telle quantification, même s'il ne s'agit pas de Haute-Fidélité telle que l'on pourrait la qualifier en acoustique, permet en norme téléphonique, le codage de suffisamment d'états d'amplitude possibles des signaux vocaux.



Étape 3 : Codage.

Puis ces échantillons vocaux, qui peuvent prendre 256 valeurs différentes sont convertis en numération binaire (en base 2) sur des mots d'une longueur de 8 bits. À partir de là, les échantillons sont devenus des nombres exprimés en base 2, c'est à dire par un nombre au format de 8 chiffres, dont chaque chiffre peut prendre la valeur 0 ou 1.

Comme ces signaux codés sont échantillonnés à la fréquence de 8.000 Hz, sur un mot binaire de 8 bits, le débit équivalent en éléments binaires par secondes (e.b/s) sera de 8.000 Hz x 8 bits = 64.000 bits/s. Bit se traduit par Élément Binaire : 0 ou 1.



Il serait déjà avantageux de réaliser des transmissions sur de longues distances sous forme numérique, car l'intérêt premier serait de pouvoir amplifier de manière peu coûteuse la liaison numérisée, étant donnée que nous savons à l'avance qu'à un instant donné, la valeur théorique transportée est soit égale à 0, soit égale à 1. Par contre, nous ne pourrions transporter sur de longues distances qu'une seule voie téléphonique simultanément, ce qui finalement ne s'avérerait pas très avantageux... Il faut donc trouver un moyen supplémentaire.

Le Multiplexage Numérique.

Lorsque nous avons échantillonné à chaque instant T, toutes les 125μs, en fait, cet instant T a duré 3,90μs. (durée fixée par les normes téléphoniques : il faut l'instant le plus court possible, mais tout en gardant une durée suffisamment longue de sécurité, eu égard aux tolérances des composants électroniques, qui eux, sont bien réels, et ne sont pas des formules mathématiques parfaites...)

Donc, sur une liaison numérique, nous voyons qu'il y a un temps mort de 125μs - 3,90μs = 121,10μs.

Puisqu'il existe un si grand temps mort entre deux échantillons numériques vocaux, pourquoi ne pas y insérer d'autres échantillons vocaux émanant d'autres conversations téléphoniques ?

Ainsi nous pourrions transmettre sur une même liaison numérique 125μs/3,90μs = 32 conversations téléphoniques numérisées à la fois ! En fait, si la durée d'échantillonnage est de 3,90μs, nous avons 32 Intervalles de Temps disponibles (IT) pour faire circuler à la fois successivement et simultanément 32 conversations téléphoniques.

C'est ce que l'on appelle le Multiplexage Numérique : à partir d'une simple liaison numérique, nous pouvons acheminer simultanément 32 voies téléphoniques, de quoi faire disparaître la pénurie de capacités de voies de transmissions de conversations, en réutilisant les liaisons métalliques existantes, qui ne peuvent acheminer en basses fréquences qu'une seule conversation à la fois...

Le Multiplexage Numérique est en fait un système Multiplex à répartition dans le temps.

Ces signaux numérisés sous forme de mots binaires de 8 bits, émanant d'une conversation en cours, avec un débit binaire de 64.000 bits/s, sont ensuite insérés dans une voie

d'un Circuit MIC, et ce côté à côté avec d'autres signaux provenant d'autres conversations en cours. (jusqu'à 30 conversations téléphoniques simultanées peuvent circuler sur une même liaison MIC.)

Un Circuit MIC est équipé de 32 voies, car une Liaison MIC est "découpée" en 32 Intervalles de Temps de $3,90\mu\text{s}$ chacun.

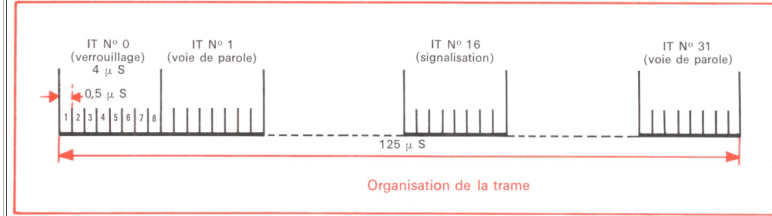
Mais seulement 30 voies sont en réalité réservées au transport des conversations téléphoniques, car 2 voies sont notamment affectées à la synchronisation et au contrôle d'erreur. En effet, parmi les 32 voies, numérotées de 0 à 31,

- la voie 0 est destinée à la synchronisation : qui doit permettre d'indiquer aux équipements de multiplexage (ou de démultiplexage) quel est le premier Intervalle de Temps parmi les 32 possibles,

- la voie 16 est destinée par convention à l'échange de signaux de signalisation (dialogues) entre équipements téléphoniques, pour permettre l'aiguillage des conversations, le contrôle d'erreurs etc...

Le risque de diaphonie (mélange) entre plusieurs conversations est quasiment inexistant.

Une fois multiplexés, les signaux des 30 voies de conversations téléphoniques sortent sur une Liaison M.I.C.



Pour ce projet de réseau de connexion temporel, il fallait une petite unité de commande capable de recevoir une numérotation et de commander une connexion dans le réseau. Ce fut le Packard Bell **PB 250**, commercialisé en 1961, l'un des derniers utilisateurs de lignes à retard magnétostrictives en tant qu'élément de sa mémoire. Packard Bell vendait son calculateur mais aussi ses mémoires.

Le **PB 250**, qui a été présenté par Packard Bell Computer Corporation lors de la Western Joint Computer Conference en mai, est le premier ordinateur avec ces deux caractéristiques. Ne coûtant que 30 000 \$, il peut rivaliser avec les machines à grande échelle en termes de vitesse et de flexibilité. Jusqu'à 40 000 opérations peuvent être effectuées chaque seconde. Le temps d'addition est de 12 microsecondes, la multiplication nécessite 276 microsecondes, tandis que la division et la racine carrée prennent chacune 252 microsecondes. De plus, les trois dernières opérations ont un temps d'exécution variable, en fonction de la longueur des nombres. Les temps indiqués sont pour un nombre composé de 21 bits et signe. Les opérations en virgule flottante avec une mantisse 37 bits et une caractéristique 7 bits nécessitent moins de trois millisecondes.

Outre la rapidité avec laquelle les opérations arithmétiques peuvent être effectuées, la vitesse globale du PB 250 est également fonction d'une structure de commande riche. Les 46 commandes incluent le transfert de blocs, la conversion de Gray en binaire et le contrôle d'un système d'entrée/sortie élaboré. La programmation est simple, avec des instructions à adresse unique, une indexation des commandes et des opérations automatiques à double précision. Le coût par unité de réponse dépend de la facilité de programmation ainsi que de la vitesse de calcul.

Le PB 250 est fourni avec un système de programmation symbolique utilisant des codes d'instructions mnémoniques et une variété de sous-programmes.

Les données et les commandes nécessaires au calcul sont stockées dans une mémoire homogène. Le support de stockage -- de 1808 mots dans l'ordinateur de base -- est un ensemble de lignes à retard **magnétostrictives** en acier au nickel le long desquelles se propagent des impulsions acoustiques. A une extrémité de chacune de ces lignes se trouve un dispositif d'écriture pour traduire l'énergie électrique en énergie acoustique. A l'autre extrémité de chaque ligne se trouve un dispositif de lecture pour retransformer l'énergie acoustique en signaux électriques.

En réécrivant l'information stockée au fur et à mesure de sa lecture, l'information circule en continu sans altération à l'exception des altérations qui résultent de l'exécution du programme informatique.

Un facteur de coût supplémentaire qui a souvent rendu les petits ordinateurs peu pratiques est celui de l'extension de la mémoire.

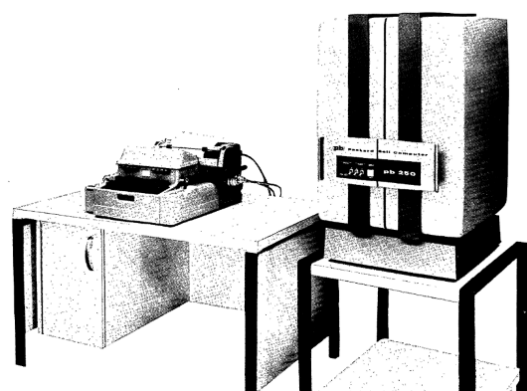
Les lignes à retard magnétostrictives, ainsi que leurs circuits associés, sont montés sur des modules gravés enfichables. La mémoire peut être étendue à peu de frais à 16 000 mots par l'ajout de modules similaires, et, en outre, ceux-ci peuvent être à accès rapide ainsi que des lignes de stockage en vrac. 16 000 mots de stockage de base peuvent également être ajoutés en externe, avec une entrée/sortie jusqu'à 85 000 mots par seconde.

Les informations d'entrée et de sortie peuvent être traitées pendant le calcul.

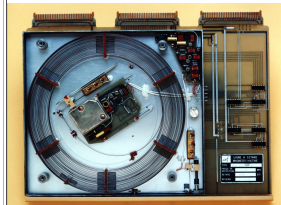
L'entrée standard comprend une machine à écrire alphanumérique, une perforatrice et un lecteur de bande papier, une entrée et une sortie de bloc à grande vitesse (2 mégacycles), 32 sorties de contrôle et 30 entrées de contrôle. Ce dernier fournit un moyen de contrôler une large gamme d'équipements périphériques et d'autres appareils.

L'équipement de bande de papier à grande vitesse et jusqu'à six gestionnaires de bande magnétique sont des équipements en option. Les bandes magnétiques utilisent le format de bande de la série IBM 700, bien que n'importe quel code utilisant jusqu'à huit canaux puisse être utilisé.

Le calculateur PB250 et sa console système



L'ordinateur central pesait 110 livres (50 kg).



Ligne à retard.

La conception a commencé en novembre 1959.

L'ordinateur était conçu comme un composant dans des systèmes à usage spécial, par exemple, pour contrôler les centrales électriques.... entraînement de sous-marins nucléaires ...

PB 250 a été licencié à SETI (français : Société européenne de traitement de l'information, lit. 'Société européenne de traitement de l'information').

Suivi le **développement d'une machine spécialisée dans la réception de la numérotation** (un périphérique du PB 250), utilisant une mémoire série à magnétostriction à commander à Packard Bell . Ce développement est lancé et au fur et à mesure, on se rend compte que cette machine qu'on va appeler multienregistreur a des propriétés intéressantes et finalement va prendre en charge une grande partie du traitement d'appel.

Il a ainsi paru intelligent de développer des machines spécialisées: le traducteur (mémoire de traduction à lignes à retard et sa commande), le taxeur (architecture voisine de celle du multienregistreur) et le PB 250 assurait les fonctions de supervision, un **CTI** en "herbe" .

Les organes chargés de piloter l'ensemble des opérations, et en premier lieu une base de temps générale, horloge générant et distribuant les différentes cadences indispensables dans un système temporel. Quant aux organes de commande proprement dits, leur organisation pose problème. Les responsables ont pleinement conscience des difficultés à surmonter pour programmer une machine chargée de toutes les opérations d'un centre de commutation (dont toute une partie exigeant le temps réel) et savent que les énormes moyens mis en œuvre par les « Bell Labs » pour y parvenir ne sont pas mobilisables au sein du C.N.E.T. ou de SO.CO.TEL. C'est pourquoi L. J. Libois souhaite qu'on cherche une solution amenant à une programmation moins lourde et moins onéreuse. Après des réflexions menées en commun avec J.B. Jacob et J. Vincent Carrefour (responsable du centre de calcul du C.N.E.T. au sein du département C.T.I.), A. Pinet s'oriente vers une commande dite répartie : les fonctions en temps réel (établissement, taxation, rupture des communications) seront exécutées par des petites unités spécialisées, les fonctions de gestion et de maintenance dont la réalisation est acceptable en temps différé seront à la charge d'un calculateur de type universel. Celui-ci pourra alors être commun à plusieurs commutateurs. Cette idée est très facilement adoptée par M. Revel, responsable des études sur les organes de commande ; il écrit que « comme beaucoup d'autres à Lannion, j'étais un commutateur faisant de l'électronique et non pas, comme à Paris, un informaticien faisant de la commutation ». En effet, lui-même et la plupart des membres de son groupe sont des commutateurs issus des techniques électromécaniques. Tous se sentent armés (et motivés) pour concevoir des ensembles logiques pilotés par un programme « câblé » constitué d'instructions complexes adaptées à la téléphonie. C'est ainsi que naît le groupe de quatre organes constituant la commande de PLATON : le marqueur assurant les échanges d'informations entre les différents types d'organes, le multienregistreur pilotant l'établissement et la rupture des communications, le traducteur mémorisant les caractéristiques de tous les accès au commutateur (lignes d'abonnés ou

circuits) et le taxeur chargé de calculer les taxes des conversations et de les imputer aux comptes des abonnés concernés. La technique utilisée est plus originale que le vocabulaire directement issu des commutateurs électromécaniques.

C'est aussi dans l'unité de raccordement d'abonnés que doit être réalisé le codage numérique des échantillons de parole. La loi de codage a été choisie après des « essais téléphonométriques et des essais subjectifs d'opinions », en l'occurrence celles des agents du département C.T.I. venant apprécier dans une salle spéciale la restitution p' moins fidèle de leur voix selon les différentes expériences de codage. Mais la réalisation d'un codeur respectant la loi retenue n'en reste pas moins très difficile avec les composants disponibles : elle prévoit 128 valeurs différentes, c'est-à-dire 27, or il s'avère difficile de dépasser 26. Le cumul des difficultés techniques et économiques (les unes réagissant d'ailleurs sur les autres) rencontrées pour développer l'unité de raccordement d'abonnés explique pourquoi c'est cette dernière qui connaîtra, au cours du temps, le plus grand nombre de versions, très différentes les unes des autres, parmi les organes constitutifs de PLATON et de son successeur industriel E10.

Malgré ces contraintes, la première maquette de laboratoire entièrement fabriquée au C.N.E.T. Lannion est assemblée et fonctionne dès 1965. C'est une première mondiale

Certains problèmes sont volontairement contournés dans l'attente de technologies plus performantes.

Ainsi, les communications sont établies à travers le réseau de connexion avec des intervalles de temps identiques pour le demandeur et le demandé. En effet, les mémoires (dites « tampons »), permettant d'y inscrire une combinaison de parole codée au temps x affecté au demandeur pour la lire au temps y affecté au demandé, ont un coût encore prohibitif. Les instructions constituant le programme de fonctionnement des organes de commande ne sont pas réalisées sur un support mémoire aisé à modifier. Enfin, le calculateur universel, dénommé Centre de Traitement des Informations (C.T.I.), chargé des opérations de gestion et de maintenance n'est pas jugé indispensable à ce stade de vérifications des principes. Ce rôle est joué provisoirement par un calculateur PB250 de Bull.

Les résultats obtenus sont considérés comme très positifs ; la maquette PLATON fait maintenant partie du circuit traditionnel suivi par les visiteurs officiels du C.N.E.T. Lannion. Les responsables jugent donc possible et nécessaire d'engager une seconde phase du projet devant aboutir à la mise en exploitation réelle dans le réseau. La mise en construction de la maquette débute le 9 décembre 1965 et en **Février 1966**, deux "abonnés" peuvent se parler à travers le Réseau de Connexion de la maquette.

Mais quelles appréciations les experts portent-ils sur cette première réalisation ?

La nature temporelle du système PLATON les laisse toujours sceptiques quant à la possibilité de réaliser à court terme des réseaux de connexion de capacité suffisante. Le surcoût apporté par le passage « fréquences vocales-modulation par impulsions codées » au niveau des étages d'abonnés leur paraît également impossible à compenser par les économies attendues par ailleurs de l'électronique.

Mais ils sont encore beaucoup plus réservés, et le terme est sans doute faible, sur la structure qui a été choisie pour les organes de commande. Comment peut-on se priver de la souplesse des programmes enregistrés (modifiables par une simple relation homme-machine, sans intervention « physique ») gérés par des calculateurs au sein desquels sont centralisées toutes les fonctions ? Pourquoi prendre une autre option que les Bell Labs et A.T.T. qui, à la même époque (1965), mettent en service réel à Succasunna le prototype de l'ESS1 piloté par deux calculateurs synchrones ?

On juge indécrottable de rappeler qu'on ne maîtrise absolument pas la conception de programmes aussi vastes pour lesquels les Bell Labs ont consacré des moyens absolument exceptionnels et un temps ayant dépassé, tout aussi exceptionnellement, les prévisions.

Aussi, la conclusion de l'article de présentation du projet dans le numéro 12 de Commutation et Electronique de mars 1966 consacre-t-elle à peine 15 % de sa longueur à rappeler les avantages attendus de la commutation temporelle, « en particulier ceux qui concernent le faible encombrement des installations, l'absence de bruit, la qualité du service due à l'extrême rapidité d'exécution des opérations, la souplesse du système quant à la possibilité de traiter des informations de natures diverses (téléphonie, transmission de données, etc.) ».

Le reste de cette conclusion sert à justifier la séparation qui a été faite entre fonctions de commutation et fonctions d'exploitation. Les premières, nécessairement exécutées sans défaillances et en temps réel « sont réalisées à l'aide de sous ensembles spécialisés dont la pluralité, ..., place le système dans les meilleures conditions pour assurer un service ininterrompu ». alors qu'« il ne faut pas oublier que la centralisation des fonctions dans un organe unique accroît les difficultés d'assurer un service sans défaillances, lesquelles ne peuvent d'ailleurs généralement être surmontées qu'au prix d'une augmentation notable du matériel ».

Il n'est pas omis de rappeler combien la commande centralisée, obligatoire dans sa totalité, quelle que soit la capacité initiale du commutateur, est économiquement pénalisante pour les installations de dimension modeste. Par contre « La centralisation de certaines fonctions liées à l'exploitation dans un organe à programme enregistré mis à la disposition de plusieurs centres de commutation nous paraît être une solution avantageuse... ».

La longueur du plaidoyer en faveur d'une commande répartie montre bien qu'elle est en totale opposition avec les idées des années 1960, toutes favorables à la commande centralisée, ne serait-ce que par conformisme avec ce que font les Bell Labs.

Peu de spécialistes (y compris sans doute parmi les responsables de ce choix) auraient pensé qu'elle puisse s'imposer à terme. C'est pourtant ce qui s'est produit (essentiellement à cause du développement des microprocesseurs), et c'est bien du mérite pour certains experts de reconnaître en 1990 que « cette structure décentralisée, très en avance sur son temps, s'est révélée être un bon choix lorsque sont apparus les microprocesseurs, et c'est maintenant une caractéristique « dernier cri » dont se vantent tous les constructeurs modernes de commutation ».

C'est donc à cause de cette organisation, qui évite les difficultés de la programmation lourde, que **PLATON** a réussi et que le système **E10** s'est imposé dès les années 1970. C'est en tout cas la thèse adoptée par plusieurs acteurs du projet, en particulier par J.N. Méreur (futur directeur des programmes au C.N.E.T.), jeune ingénieur alors chargé d'en favoriser le développement auprès des services exploitants. La nature temporelle du système, pourtant beaucoup plus innovante, ne sera pleinement appréciée qu'une dizaine d'années plus tard. Peut-être a-t-il fallu qu'A. Pinet se réfère à son riche passé de chercheur pour qu'il ne se montre pas trop surpris par le fait qu'un choix « par défaut » (la commande répartie) se soit montré prépondérant dans le succès rapide de son idée originale (la commutation temporelle).

Ce travail en commun a abouti à la **mise en service d'abord du commutateur de Perros-Guirec.**

Commutateur prototype n°1 PLATON mis en service le 6 janvier 1970.



C'était le premier Commutateur téléphonique Électronique Temporel du monde

Le projet Platon, avec sa structure de cœur temporel et concentrateurs distants, visait à couvrir les zones peu denses, en profitant des économies permises par l'intégration commutation temporelle/transmission numérique. Il fut industrialisé par la SLE (Société lannionnaise d'électronique), filiale de la CIT, sous le nom de système E10, dont la tête de série fut mise en service à Poitiers.

Le projet Périclès visait à couvrir les besoins des grands centres urbains. Il ne fut pas industrialisé, mais ses enseignements conduisirent au système E11 (puis 11F), dont la tête de série fut mise en service à Athis-Mons.

La compétition entre les deux équipes ne fut pas tant une compétition entre nature du point de connexion, tout le monde étant d'accord sur le fait qu'à terme les progrès dans l'intégration des composants assureraient le succès des réseaux de connexion temporels, mais sur la structure de la commande. Les Lannionnais n'ont pas, au début, cru à la commande par des calculateurs de type universel, mais par des calculateurs très spécialisés, alors que les équipes d'Issy ont compris très rapidement que le poids des

investissements en logiciel allait devenir prépondérant et que donc il était nécessaire d'utiliser les outils développés par l'industrie du software (méthodes de spécifications, langages de programmation de haut niveau, etc.) De fait, le logiciel des commutateurs électroniques a vite représenté des millions d'instructions, et des centaines « d'homme x ans » de programmation, et à chaque génération technologique des calculateurs, ce logiciel était porté sur les nouvelles machines.

La réforme du CNET de 1970, en créant des « secteurs » technologiques transcentres, dont le secteur commutation, a mis les deux équipes sous les ordres d'une même hiérarchie, et a permis une certaine convergence, en définissant une gamme de systèmes, répondant aux mêmes spécifications fonctionnelles, mais technologiquement différentes, pour s'adapter aux divers besoins du réseau : E10 (temporel, commande distribuée) pour les petits centres d'abonnés, E11 (spatial, commande centralisée) pour les gros centres urbains, E12 (temporel, commande centralisée) pour les centres de transit. Les restructurations industrielles ont fait quelque peu éclater ce schéma, et sont restés le E10 (qui, après plusieurs générations successives, est devenu commutateur de très grande capacité) et la gamme MT20 (transit)/MT25 (abonnés), dérivée du point de vue du logiciel du E11 via le 11F, mais à réseau de commutation temporel. En effet, en 1978, à une conférence à Atlanta, la DGT a annoncé officiellement qu'elle faisait le choix du tout temporel pour son réseau. Mais pour des considérations industrielles et de développement, des commutateurs électroniques spatiaux ont encore été commandés pendant plusieurs années après cette date.

À la fin des années 1960, il n'y avait que 4 millions de lignes en France (une densité inférieure à celle du Portugal ou de la Grèce), et, suivant la formule célèbre, la moitié des Français attendaient le téléphone, et l'autre moitié attendait la tonalité. Le développement du pays est programmé par des plans quinquennaux qui ont complètement négligé les télécommunications, et il faudra attendre le VIIe Plan en 1975 pour voir une priorité affectée au téléphone avec 100 milliards de francs d'investissements. Cette situation difficile conduit à des tensions fortes entre les IGT sur le terrain (« les exploitants les pieds dans la glaise ») et ceux du CNET (« les penseurs les pieds sur la moquette ») qui attire toujours les premiers des promotions sortantes d'ingénieurs des Télécommunications.

Quant à l'industrie, elle est dominée par des filiales de groupes étrangers, l'américaine ITT (qui possède 2 filiales en France), et la suédoise LM-Ericsson. L'entreprise nationale CIT (filiale de la CGE) fabrique le produit LME sous licence.

À partir des années 1970, la mobilisation de ressources financières, techniques et humaines sous la direction des IGT permettra, en moins de deux décennies, de construire en France le réseau le plus moderne du monde, et à faire de la petite CIT, devenue Alcatel, le n° 1 mondial de l'industrie des télécoms dans le monde.

Chaque grand groupe industriel a ainsi été conduit à faire ses choix.

Siemens n'a pas cru pendant longtemps à la commande par programme enregistré ; l'industrie anglaise a développé des commutateurs à logique câblée et à point de connexion spatial à semi-conducteur, avant de développer tardivement le système X ; LME a produit des systèmes à commande centralisée en microsynchronisme et à point de connexion électromécanique à relais à tige ; AT&T a choisi la commande centralisée en microsynchronisme et le point de connexion à relais à tige ; ITT, intervenant par ses deux filiales françaises (LMT et CGCT), leur centre de R&D (le LCT) et par la filiale belge (la Bell d'Anvers), a développé des systèmes à commande centralisée en partage de charge et à point de connexion à relais à tige ou à mini-sélecteur Crossbar, avant le système 12 qui a marqué l'arrivée d'une commande très décentralisée (avec le slogan marketing de : un microprocesseur par ligne).

A partir de 1974, on va chercher à rapprocher l'organisation des Télécommunications de celles des grandes entreprises, avec la mise en place des techniques de management et de la direction par objectifs. Une bataille pour le leadership des télécommunications françaises va être engagée entre le CNET et la Direction Générale des Télécommunications, et le CNET sera finalement limité à ses activités de recherche.

Cette bataille rangée s'est déroulée à l'occasion d'un désaccord sur l'opportunité de l'introduction d'une nouvelle technologie : la commutation temporelle .

La DGT va hésiter à mettre en place le commutateur temporel issu des travaux du CNET, qui devait être commercialisée par la Compagnie Générale d'Électronique, société produisant des équipements pour les télécoms (câbles, commutateurs, etc.).

Son rejet sera une stratégie de la part de la DGT pour éviter un monopole de la société CGE en France. Ainsi, la DGT prendra le contrôle des prix et des matériels de télécommunication, base de la politique industrielle.

La DGT va ensuite lancer un appel d'offre afin de choisir l'équipement de commutation à mettre en place en France dans le cadre de la technologie intermédiaire, nommée « spatiale ». Les candidats sont nombreux et c'est la société Thomson qui semble le plus intéresser la DGT. En choisissant la technologie proposée par Thomson, la DGT va donc ainsi créer un concurrent à la CGE.

A dater de 1977, suite à la Conférence d'Atlanta, la communauté internationale se convertit au temporel, et la DGT est leader, subventionnant à la fois Thomson et la CGE, devenus concurrents. Finalement, le grand gagnant sera la société CIT-Alcatel (qui n'est alors qu'une P.M.E.) et ce grâce à un transfert de technologie du CNET. Par-delà les conflits et les malentendus inévitables, ces réformes constituent un préalable à la nouvelle politique industrielle voulue par la DGT, fondée sur la concurrence entre les constructeurs, de façon à obtenir une qualité de matériel irréprochable.

Le pari est ainsi gagné : la France, par le biais de ses commandes et subventions publiques, et d'un transfert de technologie, aura réussi à passer de sa situation de « pays retardé » à celle du pays qui tirera le mieux son épingle du jeu, par le biais d'une entreprise devenue acteur majeur de la scène mondiale des télécommunications.

Au niveau international, la DGT demandera du reste aux deux sociétés au niveau du marché temporel (Thomson et la CGE) de travailler ensemble pour ce qui concerne l'exportation.

Tout le monde, plus tard, a convergé vers la commutation électronique temporelle pour laquelle le CNET a été l'élément moteur avec les systèmes E10, E12 et la gamme MT20/25, construits par CIT et Thomson puis Alcatel, fusion des deux.

Pour la suite des événements **en France** et beaucoup plus de détail, reportez vous à la page [Alcatel et la technopole de Lannion](#). et sur la page des différents [centraux semi-électroniques](#) spatiaux et les [centraux électroniques temporels](#).

Pour compléter la naissance de la **commutation électronique aux États Unis**, Cette aventure est racontée sur les documents (pdf) [The Morris Electronic Switching System](#) (en détail et en anglais), ainsi que dans ce document de la Bell Labs nous détaille les recherches, les étapes, les progrès fait jusqu'en 1976.

Extrait de "A History of Engineering and Science in the Bell System Switching Technology (1925-1975)"

Les débuts de la commutation électronique (*traduction Google*)

Les avantages de la vitesse réalisable à partir de l'électronique étaient évidents dès le début, et même avant la Seconde Guerre mondiale, les Bell Labs ont expérimenté le contrôle des commutateurs crossbar par des tubes à gaz. Après la guerre, l'élan vers l'électronique a été renforcé par l'invention du transistor aux Bell Labs en 1947, et un certain nombre d'expériences dans les domaines de la recherche et du développement ont utilisé les propriétés des transistors, des diodes à gaz, des tambours magnétiques et des tubes à rayons cathodiques. Les résultats de ces expériences étaient suffisamment encourageants pour stimuler le développement d'un système de commutation électronique pour un essai sur le terrain à Morris, Illinois ; une étape importante a été franchie en 1955 avec l'incorporation dans la conception Morris du contrôle par programme enregistré. Même avant la conclusion soit une réussite de l'essai Morris en 1962, le système Bell a reconnu que le développement à grande échelle de la commutation électronique était la voie de l'avenir. L'une des conséquences fut le système de commutation électronique n° 101, un PBX à répartition dans le temps qui a été mis en service commercial pour la première fois en 1963.

Les efforts de développement des laboratoires Bell ont abouti à l'**ESS n° 1**, mis en service commercial pour la première fois en 1965, et à la version 4 fils intégrée au système gouvernemental **AUTOVON** (AUTOMATIC VOICE NETWORK) à partir de 1966. Depuis le milieu des années 1960, le L'histoire de l'ESS et du contrôle des programmes enregistrés a été marquée par une croissance rapide et continue de la polyvalence et de la gamme de services.

Pour une documentation détaillée du fonctionnement du système **ESS n° 1**, consultez le fichier :

[No. 1 ESS: System Organization and Objectives](#) By W. KEISTER, R. W. KETCHLEDGE and H. E. VAUGHAN (Manuscript received January 22, 1964)

I. PREMIÈRES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRONIQUE

L'application réussie de l'électronique à la transmission a conduit à de nombreuses tentatives pour rechercher son potentiel de commutation, comme décrit au chapitre 5, section I. Certaines d'entre elles ont commencé avant la Seconde Guerre mondiale dans le domaine de la recherche, comme l'appel annonceur (voir chapitre 3, section I), enregistrement de zone à distance (chapitre 4, section 2.2) et impulsion multifréquence (chapitre 6, section IV). Des circuits utilisant des tubes à gaz ont été développés et déployés pour l'enregistrement des zones éloignées et pour la sonnerie sélective des lignes partagées. Après la guerre, le domaine de développement a trouvé une application croissante pour des éléments tels que les tubes à vide dans la signalisation monofréquence (chapitre 6, section IV), les tubes à gaz dans le crossbar n° 5 dans le traducteur en anneau (chapitre 7, section 1.1), les circuits de synchronisation (Chapitre 7, section 1.2), les transistors du traducteur de carte (Chapitre 8, section 1.2) et le circuit de test d'isolation de ligne (Chapitre 7, section 1.2). Au chapitre 5, section I, d'autres premiers efforts de recherche sont mentionnés.

II. LE DÉBUT DE LA PENSÉE SYSTÉMIQUE

L'une des expériences de recherche d'avant-guerre était le contrôle par tube à gaz des "interrupteurs crossbar", inclus dans la conception d'un cadre de liaison de ligne crossbar modèle de laboratoire n° 1 (voir Fig. 9-1). Après la Seconde Guerre mondiale, cet effort a été relancé avec une vue vers un petit centre de numérotation communautaire crossbar (COO) qui serait plus fiable que le système n° 380 (voir chapitre 4, section 2.4).

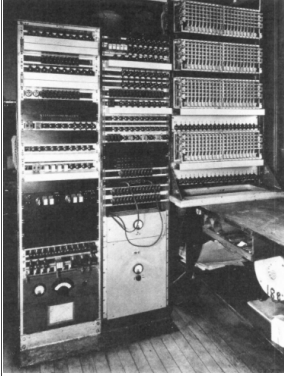


Fig. 9-1. Cadre de liaison de ligne crossbar expérimental n° 1 d'avant la Seconde Guerre mondiale avec "commutateurs crossbar contrôlés par des tubes à gaz"

Le résultat a été un développement exploratoire effectué dans le département de recherche sous la direction de F. A. Korn de l'organisation de développement. La conception du système a commencé en 1946 et a été provisoirement identifiée comme le COO "crossbar" n° 385 (voir Fig. 9-2). Le plan du système était très similaire au système n° 43 (voir chapitre 4, section 2.4).

Le développement final a été abandonné car ce système ne pouvait pas concurrencer économiquement les COO étape par étape.

Dès 1942, des études ont été faites sur la commutation par répartition dans le temps, mais les systèmes utilisant cette technique se sont avérés limités en capacité. En conséquence, la plupart des efforts d'après-guerre ont commencé avec des systèmes de division spatiale, utilisant d'abord des commutateurs à contacts scellés, comme dans le système expérimental connu sous le nom d'ECASS (pour "Electronically Controlled Automatic Switching System"). D'autres efforts ont impliqué des tubes à gaz en 1946, ou des croisements de semi-conducteurs. Dans tous ces efforts, l'idée de base était d'appliquer des "marques" de contrôle à une entrée et à une sortie d'un réseau à plusieurs étages afin qu'un chemin et un seul chemin à travers des points de croisement connectant des liaisons inactives soient établis sans connexions doubles. C'était ce qu'on appelait le "marquage de fin" avec verrouillage automatique, et les objectifs étaient de réduire la complexité du contrôle du réseau et d'établir rapidement des connexions, une à la fois. Un schéma de signalisation par répartition dans le temps utilisant un canal de signalisation séparé a été étudié et a été utilisé dans le modèle ECASS.

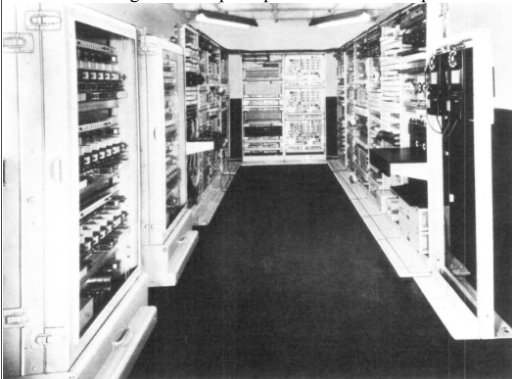


Fig. 9-2. Bureau de numérotation communautaire expérimental n° 385 à barre transversale, une tentative de 1946 d'incorporer l'électronique dans la commutation.

Cela a donné naissance au concept de balayage utilisé plus tard dans un autre système expérimental appelé DIAD (pour "magnetic Drum Information Assembler Dispatcher") et dans les systèmes de commutation électronique. En 1949, des modèles de bon nombre de ces concepts existaient et stimulaient la réflexion de nombreux ingénieurs sur les systèmes de commutation électroniques en général. Un système de séparation temporelle à 100 lignes, comme on appelait alors la division temporelle, a été construit en 1950, et un système de division de fréquence a été étudié. Des circuits de verrouillage de transistors et, éventuellement, des points de croisement ont été réalisés et des expériences de réseau menées en 1951. En 1947 et à nouveau en 1955, des propositions ont été faites pour utiliser la commutation par faisceaux lumineux pour établir des connexions de la parole.

Le stockage à tambour magnétique a été appliqué dans le système DIAD en 1954 avec l'idée de base d'écrire à la même adresse immédiatement après la lecture des informations stockées afin que les mêmes circuits logiques de commande puissent agir sur une base temporelle pour les appels stockés à chaque adresse successive. Un système de traduction à tambour magnétique a été exploré pour être utilisé avec le système de barre transversale à la place du traducteur de carte (voir ci-dessous, section 4.3.3), mais n'est pas entré en production. Un modèle expérimental d'un traducteur à tube à gaz bidirectionnel a également été exploré pour une utilisation dans des systèmes de commutation locaux afin de répondre à l'exigence de comptabilisation automatique des messages de l'équipement au directeur, numéro, et la traduction répertoire-equipement du groupe de numéros.

III. EXPÉRIENCES DE SYSTÈME DE RECHERCHE

Les nombreuses idées de base du balayage, du marquage des extrémités, des points de croisement électroniques (tube à gaz et semi-conducteur) et de la signalisation des fils d'appel ont abouti aux systèmes de recherche ECASS et DIAD et à un troisième système appelé ESSEX (pour "Experimental Solid State EXchange"), tous ont été construits comme des expériences de laboratoire à la fin des années 1940 et 1950. Ils ont formé des bancs d'essai dans lesquels les diverses nouvelles idées de commutation pourraient être testées et démontrées. Sous la direction de W. D. Lewis, l'équipe de E. B. Ferrell, W. A. Malthaner, C. A. Lovell, M. Karnaugh, W. A. MacNair, H. E. Vaughan, J. D. Johannesen, D. B. James, J. R. Runyon, E. Bruce, N. D. Newby et beaucoup d'autres ont créé de nouvelles idées et de nouveaux dispositifs de commutation et ont suscité l'intérêt pour la commutation électronique non seulement dans les laboratoires Bell, mais également dans le monde entier.

Une fois les développements de la commutation électronique entrepris, cet effort de recherche a été progressivement abandonné au cours des années 1960.

À la fin des années 1960, un nouvel effort sous HS McDonald a été lancé pour déterminer l'applicabilité des circuits intégrés à la commutation pour l'avenir. En conséquence, des centraux numériques et des annexes ont été proposées. On s'attend à ce que les techniques numériques aient un effet aussi profond sur la commutation à l'avenir que les premiers efforts de recherche sur le développement de la commutation électronique. série.

IV. LE DÉBUT DU DÉVELOPPEMENT DE LA COMMUTATION ÉLECTRONIQUE

4.1 Systèmes étudiés en 1951

C. E. Brooks et son groupe d'ingénieurs système du site de Bell Laboratories West Street à New York ont commencé à définir les exigences d'un bureau central électronique. Les anciens bureaux centraux à cadran tels que les systèmes «panel» et "pas à pas" auraient éventuellement besoin de remplaçants plus modernes, et l'électronique semblait offrir une opportunité d'économies de coûts et d'espace importantes. C'était une époque qui avait vu l'invention du transistor et l'introduction de l'ordinateur électronique à programme enregistré. De plus, les évolutions technologiques très rapides commençaient tout juste à rendre disponibles de nouveaux composants à haut débit destinés à la commutation téléphonique. Des bureaux centraux "squelettés" expérimentaux ou des sous-systèmes fonctionnels ont été conçus, construits et testés par les ingénieurs de Bell Labs dans le cadre de la recherche sur la commutation à Murray Hill, New Jersey et du développement de la commutation à West Street. Ces efforts ont été mis en parallèle et soutenus par des innovations par les organisations de recherche physique et de développement d'appareils électroniques de Murray Hill.

La conception de l'ECASS et du DIAD a servi de base à l'étude, mais l'innovation continue et l'évolution des technologies modifiaient déjà les choix d'appareils et les méthodes de fonctionnement du système. Des études assez complètes pour un "système de commutation à transistor" ont été réalisées par Brooks et les membres de son groupe en 1952 pour réaliser une conception sur papier et tester sa rentabilité par rapport aux bureaux "pas à pas" et "crossbar" n° 5. Le système a été envisagé comme ayant trois éléments principaux: le réseau de commutation et les circuits de contrôle (pour comprendre le «bureau central»), et un centre distribué à un emplacement différent. De plus, des parties du réseau devaient être distribuées plus près des groupes de clients dans des unités appelées concentrateurs de lignes distantes.

4.1.1 Système de commutation à transistor - Le réseau et le scanner

Le réseau de commutation était considéré comme un réseau «marqué aux extrémités».

Les circuits de commande n'avaient qu'à appliquer les signaux de marquage électrique appropriés aux deux bornes à interconnecter; le réseau rechercherait et connecterait automatiquement un chemin de transmission unique aux terminaux correctement marqués. La connexion serait libérée en marquant (avec un signal différent) au moins une des bornes à déconnecter. Un agencement de l'interrupteur à diode à tube "reed-gas", utilisé dans l'expérience ECASS, a été utilisé de cette manière. Les diodes du tube à gaz fournissaient la fonction de marquage d'extrémité, les «relais reed» la connexion métallique à 2 fils (transmission électriquement équilibrée) pour la transmission vocale, les signaux d'impulsion de numérotation et les signaux de sonnerie ou d'occupation.

Une alternative était un réseau de tubes à gaz qui répondrait à la fois aux signaux de marquage d'extrémité et, lorsqu'il est utilisé, fournirait un chemin de transmission de la parole avec gain. Le gain servirait à compenser d'autres pertes encourues dans le réseau afin d'avoir des caractéristiques de transmission équivalentes à celles des systèmes de commutation électromécaniques. (La Fig. 9-3 montre une comparaison des configurations de la "diode reed" et de la diode à voie de parole.)

Le troisième choix était comme le second. Un transistor à jonction a pris la place de la "diode à gaz à chemin de parole"; cependant, le réseau de transistors présenterait une légère perte de transmission plutôt qu'un gain.

Ni la diode du chemin de parole ni le réseau de transistors ne pouvaient transmettre des signaux importants tels que les tensions et les courants de sonnerie de ligne.

De plus, réduire le nombre d'éléments de commutation signifiait que les réseaux devaient être connectés à un chemin unique (transmission déséquilibrée) de terminal à terminal, nécessitant un retour par une masse commune à tous les chemins. Par conséquent, chaque ligne ou tronc équilibré était couplé par transformateur au réseau; les signaux d'impulsion de numérotation du client ne pouvaient pas être transmis via le réseau aux circuits de réception des chiffres.

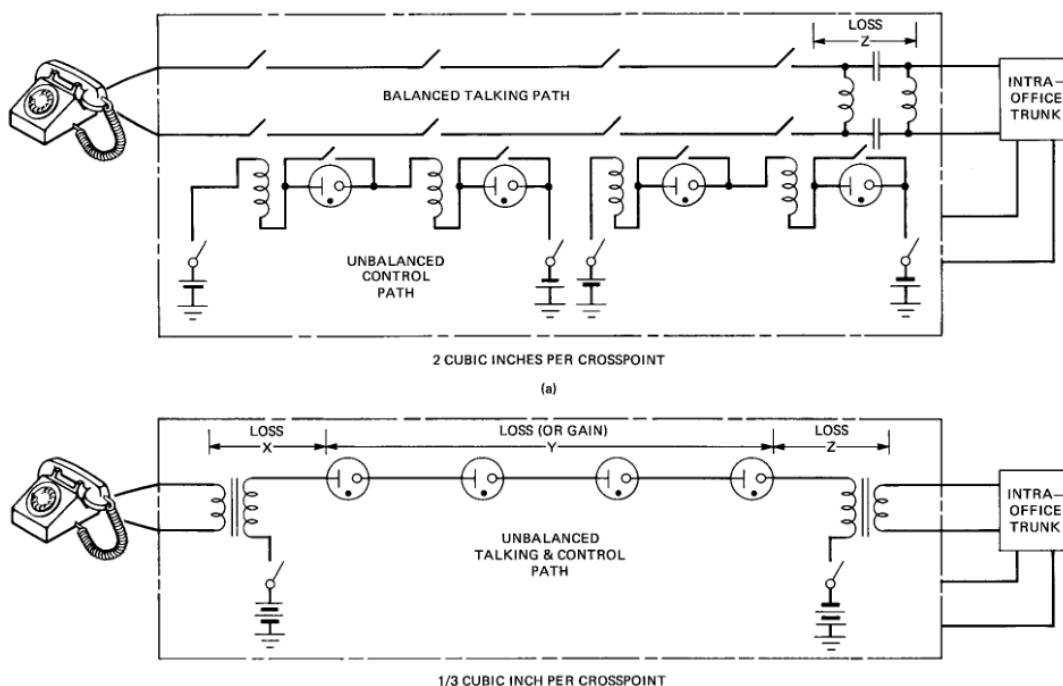


Figure 9-3. Circuits de réseau considérés au début des années 1950 : (a) diode reed et (b) diode à voie de parole.

Ces limitations de signalisation ont été considérées comme des opportunités. Il y avait un intérêt à ajouter de l'électronique au téléphone du client pour :

- 1) permettre une signalisation à grande vitesse au lieu d'une impulsion de numérotation à dix impulsions par seconde,
- 2) fournir des amplificateurs pour la parole et les signaux de sonnerie de bas niveau transmis via le réseau au poste, et
- 3) comprennent l'identification automatique des téléphones de la ligne partagée par des impulsions transmises du téléphone au central.

L'amplification de la parole a permis au téléphone transistorisé de fonctionner avec beaucoup moins de courant et de puissance que le téléphone existant requis.

Le besoin de signalisation à partir du poste téléphonique a été évité grâce au scanner rotatif à couplage capacitif inventé pour DIAD par N.D. Newby.

Le scanner interrogeait séquentiellement chacune d'un grand nombre de lignes à des vitesses de la microseconde pour les demandes d'origine et les impulsions de numérotation. Un appareil servirait d'équivalent à la fois du relais de ligne et du détecteur d'impulsions de numérotation. L'enregistrement réel des chiffres pourrait être conservé dans une mémoire commune associée aux moyens de commande. L'élimination de l'exigence de signalisation à grande vitesse a grandement simplifié l'électronique nécessaire au poste téléphonique. (Dans sa proposition, Brooks incluait un scanner et une mémoire commune pour stocker les chiffres ; ceux-ci utilisaient des tubes à rayons cathodiques et des phototransistors.)

Plusieurs étapes importantes dans l'évolution des centraux électroniques sont observées ici. Premièrement, l'électronique à grande vitesse pourrait être utilisée plus avantageusement dans un circuit centralisé commun (le scanner), et de nombreux registres individuels pourraient être remplacés par une mémoire électronique de masse (le tube à rayons cathodiques). Deuxièmement, le scanner a été utilisé pour exécuter deux fonctions: détecter les origines et collecter les chiffres des impulsions de numérotation. Un moyen de contrôle utilisait alternativement le scanner pour effectuer ces différentes tâches à des moments différents, plutôt que de déléguer cette complexité au scanner lui-même. Initialement, les études du système comprenaient des recommandations pour le réseau de transistors. Le réseau de transistors nécessitait des tensions de marquage et de fonctionnement beaucoup plus faibles que les alternatives de tubes à gaz, et les transistors nécessitaient moins d'espace et de puissance. Les estimations économiques ont favorisé le transistor, bien qu'une implémentation de dispositif et de circuit n'était pas alors à portée de main.

Avec le réseau de transistors, on pensait en outre qu'un réseau à six étages marqué aux extrémités pouvait être obtenu, alors que seul un réseau à quatre étages pourrait être obtenu avec des tubes à gaz. Le réseau devait être modulaire afin de pouvoir passer de moins de 1000 lignes à une taille maximale de 10 000 terminaux de ligne. Une conception à six étages gèrerait cette étendue de taille de réseau de manière plus économique (moins de points de croisement par ligne) qu'une configuration à quatre étages. Pour économiser les points de croisement dans les petits bureaux, les modules de réseau pourraient être assemblés dans une configuration à quatre étapes, permettant aux appels intrabureau d'être acheminés de manière plus économique. Cette dernière fonctionnalité tirerait parti de la "communauté d'intérêts" des modèles d'appel généralement associés aux petits bureaux.

Au fur et à mesure que le petit bureau s'agrandit, l'efficacité du schéma de liaison intrabureau diminue et ces liaisons seraient supprimées et remplacées par des liaisons intrabureau à deux ports. La croissance serait accomplie en ajoutant des trames de réseau et en redistribuant les liaisons en réorganisant les connexions sur les trames de regroupement des joncteurs. Au début, on pensait que le réarrangement du joncteur nécessiterait un recâblage, mais l'idée d'utiliser des cartes enfichables pour simplifier et accélérer cette tâche était considérée comme une possibilité future. Les étages de commutation réseau devaient être des modules enfichables pour faciliter la réparation. Les premiers plans de réseau prévoyaient la possibilité de supprimer une partie de la première étape de commutation et le scanner de ligne associé et de remplacer cet équipement par des concentrateurs de ligne distants afin de réduire les besoins en cuivre de l'installation extérieure. Des études de soutien ont commencé en 1951 pour examiner les concentrateurs de ligne à distance pour une application au système de commutation à transistor et, plus immédiatement, à la barre transversale n° 5. D'autres études ont montré des plans pour des réseaux à six étages qui, avec l'utilisation de concentrateurs, pourraient atteindre une capacité de 500 000 lignes. Des systèmes d'essais

sur le terrain de concentrateurs de ligne à distance en ont résulté, mais l'application commerciale n'est apparue que plus tard. (Voir Chapitre 11, section 2.10.)

4.1.2 Système de commutation à transistor - Le contrôle

Le contrôle du système de commutation à transistor reposait fortement sur la technologie des tubes à rayons cathodiques (CRT).

Un CRT avec un réseau associé de **phototransistors** à sa face servirait à balayer les "lines" ou lignes et les "trunks" ou troncs pour l'état occupé-inactif, pour les départs et pour les impulsions de numérotation

Un deuxième tube cathodique associé fournirait une mémoire effaçable pour conserver des informations par ligne ou par tronc pour les points de balayage associés à chaque phototransistor. Un groupe de CRT desservirait les lignes et le second desservirait les lignes réseau. Un troisième système de mémoire effaçable CRT fournit une mémoire pour des informations transitoires associées à des appels individuels. La logique câblée et les réseaux de bascules accéderaient aux trois systèmes CRT à des vitesses de la microseconde sous la synchronisation d'une "horloge" électronique pour détecter et assembler l'intelligence nécessaire pour déterminer les connexions réseau requises. La logique câblée et les réseaux de bascules accéderaient également aux trames du réseau et aux circuits interurbains via des matrices de diodes afin de contrôler l'établissement des connexions réseau réelles.

La figure 9-4 montre un schéma fonctionnel du système de 1952.

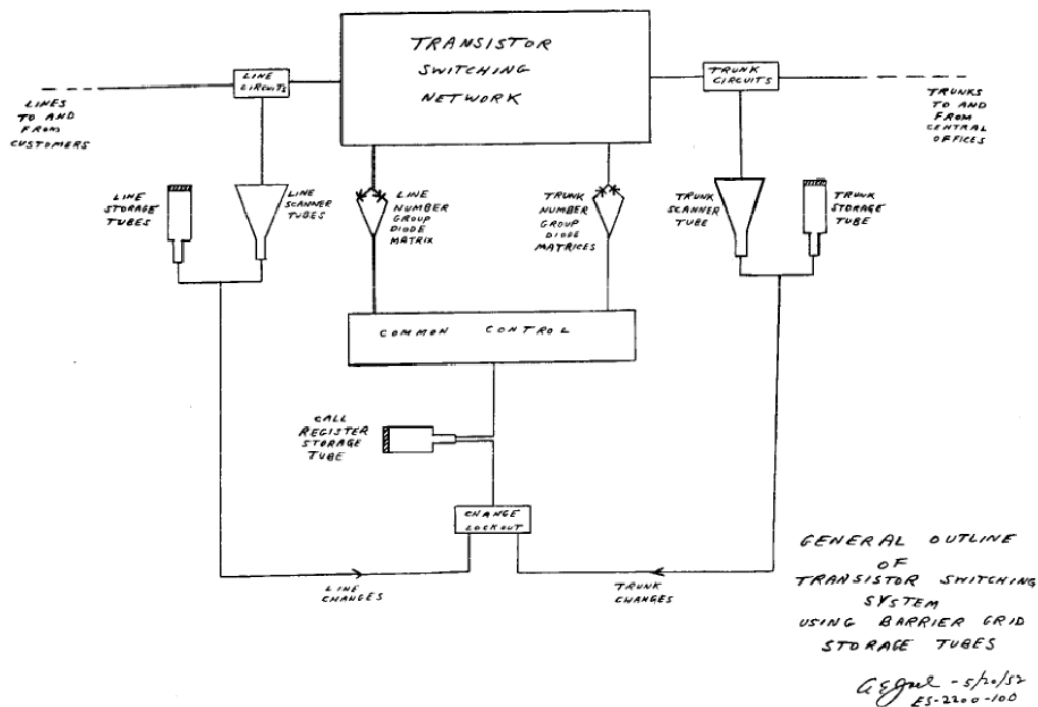


Fig. 9-4. Une vue de 1952 de la commande électronique d'un réseau de commutation transistorisé. La pensée de contrôle était alors basée sur la technologie de tube à rayons cathodiques.

Il ressemble étroitement à la configuration utilisée dans les systèmes Morris et n° 1 ESS (voir ci-dessous), bien que le contrôle du programme enregistré n'ait pas encore été intégré et que la mémoire soit encore un peu moins consolidée que dans les systèmes ultérieurs.

Les lignes et les troncs seraient balayés à grande vitesse en déviant le faisceau CRT d'un phototransistor à l'autre. La combinaison de la présence du faisceau et du signal de tension approprié sur le fil câblé connecté à son phototransistor générerait un signal indiquant l'état d'inactivité, la demande de service ou l'état occupé, ou les informations d'impulsion de numérotation (voir Fig. 9-5). L'adresse du faisceau, c'est-à-dire les tensions de déviation des axes X et Y, correspondrait au numéro d'équipement de la ligne. En accédant de manière répétitive à toutes les cellules du scanner en succession rapide, la commande est capable de compter les impulsions de numérotation et de détecter les intervalles interdigués.

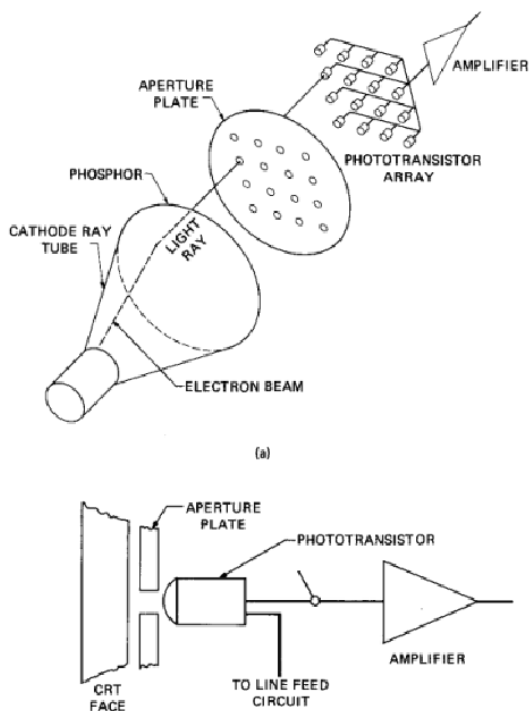


Fig. 9-5. Scanner à tube cathodique pour le système de commutation à transistor : (a) géométrie globale et (b) section transversale d'une cellule.

Les chiffres seraient comptés et enregistrés dans une mémoire de stockage temporaire. Une mémoire proposée était le tube de grille de barrière. Ces dispositifs CRT utilisaient le faisceau d'électrons pour déposer des charges statiques sur une couche isolante (mica) afin de représenter des informations binaires. L'interrogation ultérieure du site par le faisceau a donné différentes quantités d'électrons secondaires, qui ont pu être détectés par une anode collectrice (voir Fig. 9-6). Et que le tube à grille barrière ne soit pas disponible dans le commerce, des modèles expérimentaux de cet appareil fabriqués aux Bell Labs à Murray Hill, New Jersey ont démontré une capacité de mémoire suffisante.

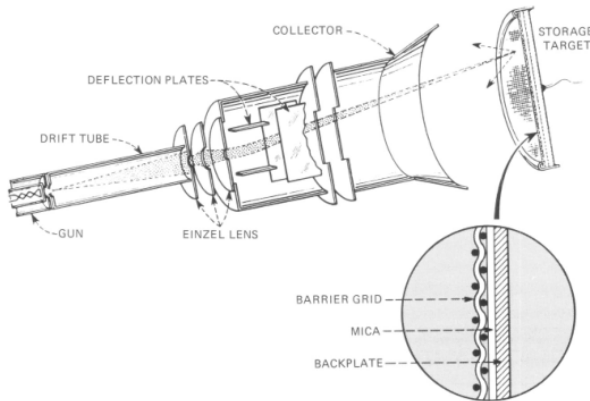
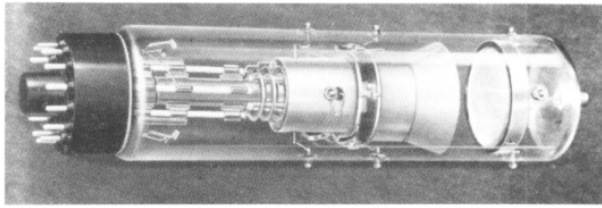


Fig. 9-6. Tube de grille de barrière et section transversale. Un faisceau d'électrons dépose des charges statiques sur la couche isolante en mica.

Pour des raisons d'économie, le système de commutation à transistor, comme DIAD, utilisait une mémoire de masse commune plutôt que des registres individuels pour accumuler et stocker les chiffres composés. Contrairement à la mémoire à tambour DIAD, le tube à grille barrière ne pouvait lire ou écrire qu'un seul bit de mémoire par opération.

L'accès aléatoire à très haut débit de ce dernier à n'importe quel site mémoire était considéré comme suffisant pour répondre aux besoins du système de commutation à transistor. Le tube à grille barrière était plus économique qu'une mémoire à tambour, qui nécessitait de nombreux circuits de lecture / écriture et des registres à bascule associés - au moins un par piste pour le tambour. Ce compromis entre la vitesse de fonctionnement et l'économie des circuits d'accès à la mémoire s'est ensuite déplacé vers les mémoires organisées en mots dans les premières conceptions de production de systèmes de commutation électroniques.

Une fois les chiffres enregistrés, il fallait alors traduire le numéro d'annuaire en numéro d'équipement afin de pouvoir localiser la ligne appelée dans le bureau ou de localiser le groupe de lignes réseau approprié si l'appel devait aller vers un autre central ou à un opérateur.

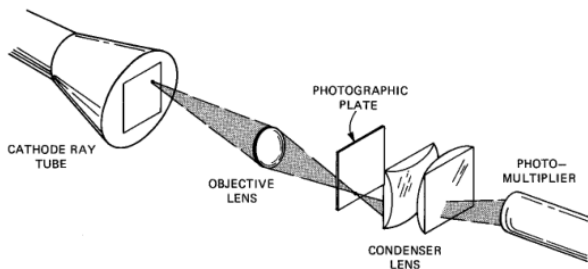
Une mémoire de masse pourrait être adressée avec le nombre à traduire, et les données stockées représenteraient les valeurs traduites correspondantes. Cette mémoire devait être placée dans un centre "accounting" de gestion centralisé.

4.1.3 Système de commutation à transistor - Le centre de comptabilité

La fonction de centre de gestion associée au système de commutation à transistor devait inclure des informations partagées et devait utiliser des tubes à grille barrière et un autre système CRT décrit ci-dessous. Une liaison de données bidirectionnelle relierait la commande du système de commutation à transistor au bureau du centre de gestion, qui pourrait être situé dans un autre bâtiment. (La liaison des données sur les lignes téléphoniques a fait l'objet de recherches dans les années 1950.) Une base de données unique pour la traduction entre les numéros d'équipement et les numéros d'annuaire pourrait être administrée de manière pratique pour un certain nombre de centraux électroniques connectés au bureau de gestion des recettes, et le partage de la base de données permettrait des économies évidentes dans l'ensemble du système.

Bien qu'elle n'ait pas été mise en œuvre au moment de l'introduction du système de commutation électronique (ESS) n° 1, la transmission par liaison de données des informations de facturation vers un centre d'enregistrement centralisé a été introduite en 1975 et est décrite au chapitre 11, section 2.8.

Une très grande mémoire à accès rapide était nécessaire pour exécuter la fonction de traduction, et un système à tube à rayons cathodiques a également été suggéré pour cette tâche. Dans l'exemple mentionné ci-dessus, le numéro d'annuaire de la ligne appelée pourrait être codé dans une position de déviation X et Y, et le faisceau serait dirigé vers un point de départ sur un écran au phosphore à faible persistance dans le CRT. Derrière le CRT seraient placés une plaque photographique, une lentille de condensation et un photodétecteur (voir Fig. 9-7)



LENTILLE DE CONDENSEUR À TUBE CATHODIQUE

Figure 9-7. Plan de base du magasin du flying-spot, vers 1954.

La plaque aurait un réseau de sites transparents et opaques représentant des uns et des zéros. À partir de l'adresse de départ, le faisceau serait balayé le long d'une rangée de ces sites, et le flux résultant de uns et de zéros serait lu à partir du photodétecteur et d'un amplificateur associé dans un registre de bascules à transistors. Le registre contiendrait alors le numéro d'équipement souhaité. Cette utilisation d'un scanner "flying spot" comme stockage de mémoire binaire a fourni un dispositif de mémoire en vrac. Il contiendrait toutes les informations pour les lignes et les lignes réseau et inclurait à la fois la traduction de l'emplacement de l'équipement en numéro d'annuaire (identification du numéro appelant) et la traduction du numéro d'annuaire en numéro d'équipement (emplacement de la connexion du numéro appelé à l'équipement de commutation).

D'autres mémoires électroniques ont été envisagées pour être utilisées dans les systèmes de contrôle et de gestion. Ceux-ci comprenaient des bandes magnétiques, des tambours magnétiques et des lignes à retard acoustiques ou électriques.

Comme indiqué ci-dessus, les informations sont stockées dans la plaque photographique, le système nécessitait un accès rapide (dizaines de microsecondes ou moins) et une grande capacité (dizaines ou centaines de milliers de bits); à l'époque, cette combinaison d'exigences n'était pratiquement réalisable qu'avec les systèmes CRT avec leur accès aléatoire rapide.

La conversion du numéro d'équipement en numéro d'annuaire serait stockée dans des scanners à points volants au centre de comptabilité pour identifier le numéro d'annuaire à facturer. Ceci est obtenu en utilisant comme adresse mémoire le numéro d'identification de l'équipement transmis du système de commutation à transistor au centre de comptabilité. Une mémoire de tube à grille barrière serait utilisée pour collecter les informations nécessaires pour déterminer les frais d'appel. Une fois les numéros de et de facturation d'un appel terminés, les informations seraient déplacées vers une bande magnétique pour faire de la place pour les nouvelles données d'appel entrant dans le magasin de grille de barrière.

Le bureau central accéderait aux données de traduction dans le centre de gestion selon les besoins sur demande via la liaison de données. Par exemple, l'achèvement des appels entrants nécessite une traduction du numéro d'annuaire en un numéro d'équipement. Le bureau central transmettrait le numéro d'annuaire, et le centre comptable utiliserait le numéro d'annuaire pour adresser le scanner de points volants. La réponse serait la lecture du numéro d'équipement, qui serait ensuite envoyé au bureau central pour permettre l'achèvement de l'appel.

(Des ordinateurs centralisés de ce type ont depuis été utilisés dans des systèmes de commutation commerciaux autres que Bell.)

Avec ces modèles, le système de commutation à transistor est apparu économiquement attractif pour un bureau de 9 000 lignes à New York et un bureau de 2 000 lignes à Morris, Illinois. Cependant, d'autres études ont été entreprises pour affiner les exigences du système et mieux comprendre les choix d'appareils. Des études de marché sur les bureaux de remplacement et les nouvelles applications de centres de commutation devaient être entreprises, ainsi qu'un examen des applications de commutation en tandem et interurbain.

Le développement d'un concentrateur de ligne à distance pour le système crossbar n° 5 était déjà en cours (comme décrit ci-dessous, section 4.3.1) et contribuerait à une meilleure compréhension de cette partie du système de commutation à transistor.

4.2 Études 1952-1954

Des études de système supplémentaires ont continué à définir plus complètement le fonctionnement du système de commutation à transistor et ont inclus des considérations assez détaillées sur l'appareil, l'équipement et la rentabilité. Le point a été atteint où le développement a été considéré comme la prochaine étape logique. Un prospectus a été préparé par Bell Laboratories et transmis en mai 1954 à AT&T.

Ce prospectus recommandait que Morris, Illinois soit l'emplacement du premier bureau. Une bonne partie des données d'ingénierie avaient été générées pour cet emplacement, et sa taille modeste permettrait aux ingénieurs d'acquiescer l'expérience nécessaire avec un minimum dépenses. L'installation extérieure comprenait suffisamment de paires pour qu'un concentrateur à distance ne soit pas nécessaire, et un réseau de diodes à tube à gaz plus petit pouvait être utilisé plutôt que d'attendre un réseau à transistors. Le réseau à transistors a alors été proposé pour faire son apparition dans de plus grands bureaux à la suite de Morris. On a estimé que le magasin de mémoire du scanner à points volants (plus tard appelé le magasin à points volants) nécessitait 76 000 bits d'informations, et que le tube à grille de barrière nécessitait 14 000 bits de mémoire modifiable.

Les études de système antérieures supposaient que chaque ligne serait balayée de manière répétitive toutes les cinq millisecondes. Ce débit rapide était nécessaire pour détecter correctement les impulsions de numérotation, mais n'était pas nécessaire pour détecter les appels émis ou déconnectés. La proposition a été modifiée pour analyser les lignes inactives toutes les 100 millisecondes; seules les lignes en état de numérotation seraient observées toutes les cinq millisecondes. Le même scanner serait adressé à des vitesses différentes pour réaliser les deux fonctions.

On pensait que la vitesse des opérations du système serait si rapide que les signaux de tonalité ne seraient plus nécessaires pour indiquer au client d'origine quand commencer à composer. Dans les systèmes antérieurs, le client serait connecté via le réseau à un récepteur numérique avec un générateur de tonalité de numérotation attaché. Le balayage au niveau de la ligne et l'élimination de la tonalité de numérotation ont évité le besoin de "l'appel de tonalité de numérotation". Cependant, on s'est rendu compte par la suite que la tonalité fournit des informations très utiles au client: la ligne fonctionne correctement, un autre correspondant ou un téléphone supplémentaire n'utilise pas déjà la ligne, et ainsi de suite. Par conséquent, l'idée d'éliminer la tonalité a été abandonnée.

Le prospectus de 1954 estimait le contrôle Morris à 100 bascules et 2000 portes logiques à semi-conducteurs. Le prospectus notait également un certain nombre de services à la clientèle et de fonctionnalités d'exploitation qui pourraient être ajoutés ultérieurement en apportant de légères modifications à la logique de contrôle. Il a été reconnu qu'une bonne partie de la complexité de la commande avait été transformée en mots de données stockés dans les mémoires CRT en bloc, et des modifications du contenu de la mémoire seraient beaucoup plus faciles à effectuer que le recâblage de circuits individuels. (Voir Fig. 9-8 pour une conception de 1954 du central électronique.) Le système comprendrait en grande partie des unités enfichables et des séquences de test exerceraient la logique de commande et les sous-systèmes de connexion pour localiser les problèmes. Les lampes s'allumeraient automatiquement pour indiquer l'emplacement du défaut du circuit. Des sous-systèmes en double fourniraient une capacité de veille jusqu'à ce que les unités enfichables défectueuses puissent être remplacées.

En juillet 1954, Bell Laboratories est autorisé à développer un central électronique, objectif majeur des études de systèmes. Entre-temps, d'autres études de systèmes et développements exploratoires se sont poursuivis à mesure que le système de commutation à transistor évoluait vers le système Morris.

4.3 Développement exploratoire

Au début des années 1950, un certain nombre d'ingénieurs de développement et de recherche des laboratoires Bell appliquaient l'électronique à la modernisation des systèmes de commutation électromécaniques ou des parties fonctionnelles des systèmes.

Cela comprenait des travaux sur la logique et les mémoires du noyau magnétique, les tubes à rayons cathodiques, les tambours magnétiques, les tubes à gaz à cathode froide, les transistors et les diodes. Ceux-ci étaient assemblés en systèmes fonctionnels qui étaient testés en laboratoire ou soumis à des essais sur le terrain. Quatre de ces projets sont décrits ci-dessous.

4.3.1 Un concentrateur de lignes à distance expérimental

Il semblerait économique de concentrer le trafic téléphonique à proximité d'un groupe de clients et de réduire ainsi le nombre de paires de fils de cuivre qui doivent être amenées à un centre de câblage pour l'interconnexion.

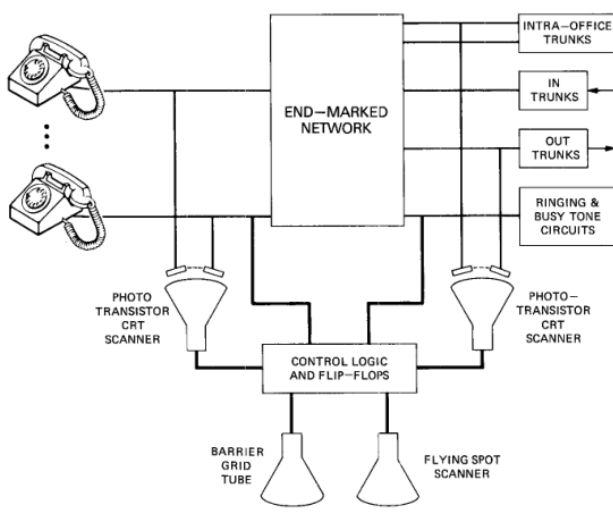


Fig. 9-8. Vue du bureau central électronique de Morris en 1954. Le système de contrôle était alors estimé à 100 bascules et 2000 portes logiques à semi-conducteur.

Les débuts de l'économie de la commutation électronique impliquent un compromis sur le coût de la localisation à distance du commutateur, y son alimentation distribuée et sa maintenance, par rapport aux économies réalisées dans l'usine de boucle. Si, par exemple, un concentrateur pouvait être utilisé pour éviter l'ajout de nouveaux conduits souterrains, alors une économie substantielle de matériaux et de coûts pourrait être réalisée.

En 1953, sous la supervision d'AE Joel, Jr., le développement exploratoire d'un concentrateur à distance a commencé en utilisant une variété de composants et de techniques électroniques. Les objectifs de conception comprenaient : la gestion avec les téléphones à cadran standard existants ; la possibilité de travailler avec des lignes à un ou deux participants, mais pas avec des lignes à pièces ou PBX ; un minimum d'équipements de central téléphonique associés par ligne ; et une conception pour fonctionner avec le crossbar n° 5, car le n° 5 était le système de commutation local le plus récent à l'époque. De plus, la maintenance de l'équipement devait être simplifiée en créant une conception modulaire avec des unités enfichables dans l'équipement à distance - une première pour l'équipement de commutation téléphonique de Bell Tel. D'autres "premières" comprenaient l'utilisation d'impulsions à grande vitesse (500 bits par seconde) entre les unités centrales et distantes, et une bande magnétique dédiée dans le central pour enregistrer l'utilisation et les mesures de retard d'appel pour plusieurs concentrateurs. L'utilisation d'un scanner de ligne à grande vitesse a non seulement permis d'économiser deux relais par ligne, mais a également aidé à générer les données pour les mesures de la bande magnétique. Les parties par ligne du scanner et du concentrateur de relais Reed à tube de gaz pour une seule ligne ont été assemblées dans une unité enfichable qui a été encapsulée pour protéger contre l'humidité. Comme le montre la Fig. 9-9, il a été conçu pour un fonctionnement enfichable.

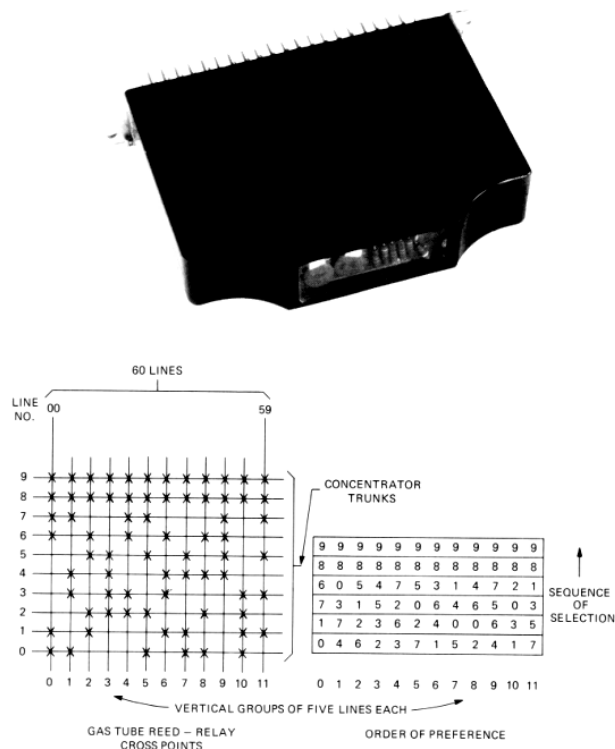


Fig. 9-9. Conception enfichable de points de croisement pour concentrateur de ligne expérimental

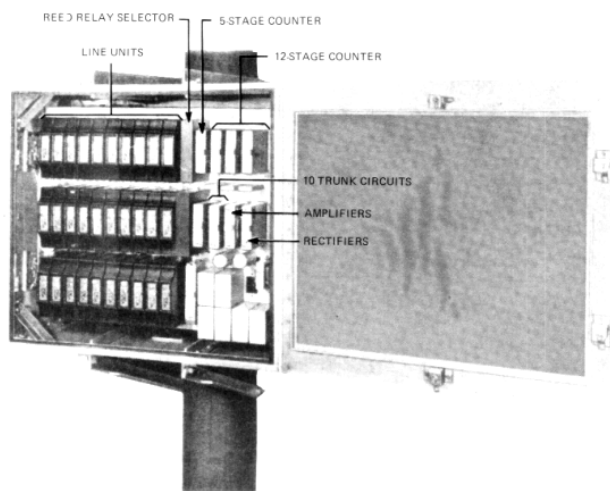


Fig. 9-10 montre un concentrateur desservant 60 lignes sur dix trunks.

Cette unité, dont le développement a commencé en 1953, utilisait le courant alternatif du bureau central pour piloter des redresseurs fournissant de l'énergie au pôle.

L'unité montée sur poteau utilise deux trunks supplémentaires comme liaisons de données entre les circuits de contrôle dans le concentrateur et le bureau central.

Le concentrateur a agi comme une autre étape de commutation, mais il a essentiellement remplacé la "construction" de la première étape de la trame de liaison de ligne dans le bureau crossbar de desserte n° 5. En conséquence, l'unité de contrôle centrale, qui pouvait gérer un certain nombre de des concentrateurs de ligne distants, actionnaient deux étages de commutateurs, ce qui "trompait" le marqueur, qui avait envoyé une commande pour n'actionner qu'un seul étage de la trame de liaison de ligne.

La figure 9-11 montre comment la commande est interposée pour exécuter la méthode de fonctionnement "tromper le marqueur". Cela a minimisé les changements de câblage dans le bureau crossbar n° 5 lorsque les concentrateurs de ligne à distance devaient être ajoutés ou déplacés.

Trois concentrateurs ont été construits et des essais sur le terrain ont été menés à LaGrange, Illinois, Englewood, New Jersey et Freeport, Long Island. Bien que ces essais aient été couronnés de succès sur le plan opérationnel, du matériel supplémentaire aurait été nécessaire pour assurer la maintenabilité d'un modèle de production. Les estimations de coûts ultérieures ont indiqué un marché insuffisant pour justifier le développement de la conception pour la fabrication à ce moment-là. Les avantages inhérents de vitesse et de fiabilité offerts par les semi-conducteurs n'avaient pas encore gagné la journée.

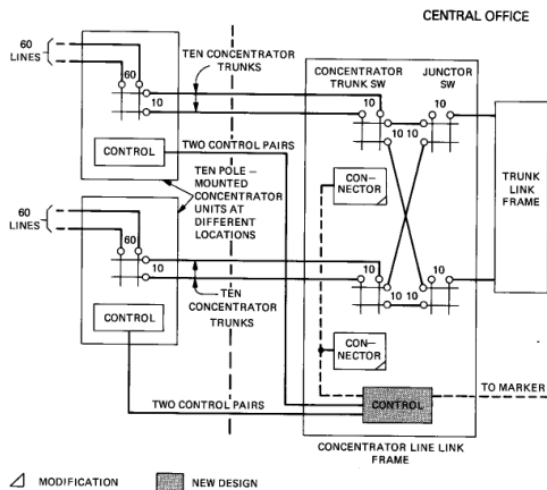


Fig. 9-11. Modification de la barre transversale n° 5 pour accueillir des concentrateurs de ligne à distance.

4.3.2 Le concentrateur de ligne distribuée

Sur la base des expériences avec le concentrateur expérimental de Joel, les ingénieurs des systèmes de commutation, dirigés par C. E. Brooks, ont étudié une approche alternative appelée le concentrateur de ligne distribuée. Cette approche était basée sur plusieurs principes importants qui visaient à « transformer le corner » mais qui s'appuyait sur des technologies similaires.

Avec le concentrateur de ligne distribué, la plus grande partie de la complexité du contrôle et de la maintenance connexe devait être conservée dans le bureau central.

L'équipement distribué par ligne a été conçu pour avoir un minimum de contrôle autonome; par exemple, aucun balayage répétitif n'était fourni dans le cadre de l'équipement à distance. De plus, l'équipement par ligne devait être distribué dans de très petites unités qui auraient été connectées aux points où les paires de câbles étaient épaissies aux branchements de ligne individuels.

La Fig. 9-12 montre la disposition décrite.

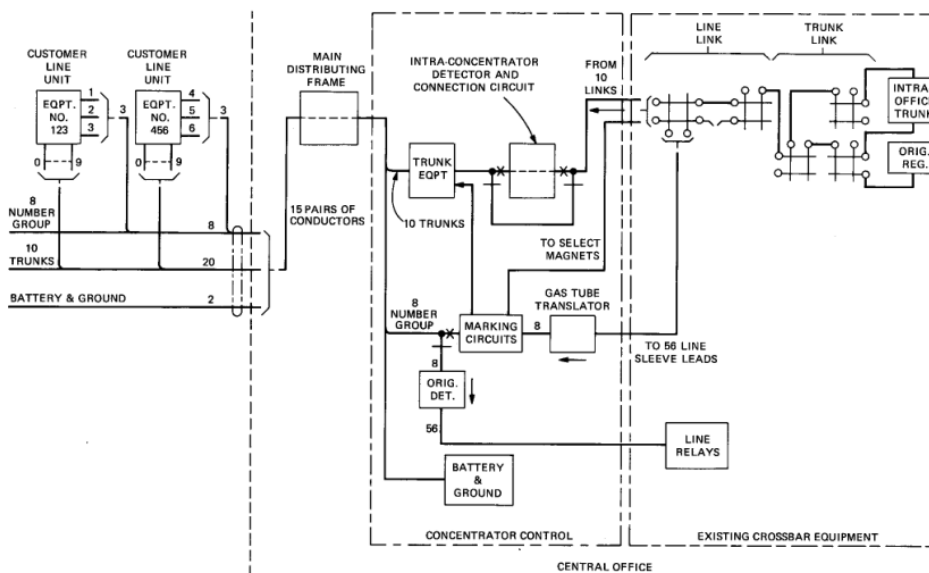


Fig. 9-12. Concept de concentrateur distribué : l'équipement par ligne (à gauche) se trouverait aux intersections des câbles et des connexions en boucle vers les téléphones des clients. L'équipement de contrôle (au centre) serait logé sur le site du bureau crossbar (à droite). (AIEE Transactions on Communications and Electronics, Vol. 82, juillet 1963.)

Le système distribué reposait également sur le fait que la plupart des longueurs de boucles téléphoniques se retrouvaient par paires dans un câble multipaire. Chaque unité par ligne partagerait un certain nombre de paires dans le câble, concentrant ainsi le trafic sur un plus petit nombre de paires dans ce câble. Des paires supplémentaires dans le câble auraient servi de conducteurs de signal (ou de groupe de numéros) pour communiquer entre la commande du central téléphonique et les téléphones individuels des clients. En câblant chaque unité de ligne client à des combinaisons uniques de trois fils de groupe de numéros sur huit, un accès individuel à jusqu'à 56 lignes était possible avec le câble à 15 paires.

L'unité de contrôle du bureau central était destinée à « tromper le marqueur », comme dans la conception du concentrateur antérieur, mais le concept distribué prévoyait également des connexions d'appel intraconcentrateur à l'aide d'unités de ligne client spéciales. Cette technique a supprimé la charge de trafic inutile du central téléphonique et réduit le blocage sur les lignes réseau du concentrateur. Avec des niveaux raisonnables de communauté d'intérêts dans les schémas d'appel au sein du groupe concentrateur, des augmentations significatives de la concentration effective étaient possibles.

Les points de croisement du concentrateur répartis dans chaque unité de ligne client devaient être du type relais reed à tubes à gaz combinés similaires à ceux décrits précédemment. Un deuxième type d'unité de ligne client a également été proposé dans lequel le point de croisement Reed était verrouillé magnétiquement au lieu de nécessiter un courant de maintien. D'autres tubes à gaz, des diodes logiques semi-conductrices et des relais constituaient le reste des composants des unités de ligne client. Une conception sur papier de deux configurations du concentrateur a été décrite en juillet 1963 et des modèles d'essai ont été utilisés dans plusieurs bureaux centraux crossbar n° 1, mais comme son prédécesseur, le concentrateur de ligne distribuée n'a pas été jugé pratique pour la production commerciale. Un concentrateur électromécanique utilisant des commutateurs crossbar à verrouillage magnétique spécialement conçus a été introduit en 1961, et plus de 4 000 de ces systèmes ont été installés (voir chapitre 11, section 2.10). La concentration électronique n'a fait ses preuves qu'à la fin des années 1970.

4.3.3 Traducteur à tambour magnétique

À partir du début des années 1950, des mémoires à tambour magnétique de grande capacité ont été essayées dans les applications de l'électronique à diverses fonctions de commutation. La première d'entre elles était la fonction de traduction d'itinéraire pour le système de commutation à péage crossbar 4A. Le traducteur de carte 4A utilisant des phototransistors à point de contact a été conçu à l'origine pour cette tâche, comme décrit au chapitre 8, section 1.2.

Les tambours magnétiques offraient une vitesse et une capacité de mémoire adaptées à la tâche et, comme nous l'expliquerons, auraient réduit la quantité d'équipement nécessaire et simplifié l'administration des dossiers de traduction du traducteur de cartes. Un modèle de travail du traducteur à tambour magnétique a été construit et a fonctionné avec un bureau crossbar squeletté n° 4A pendant plus d'un an. Il utilisait une variété de composants électroniques, y compris des tubes à vide, tubes à gaz à

cathode froide et transistors et diodes à contact ponctuel.

La figure 9-13 est un schéma fonctionnel du traducteur à tambour magnétique. Il est associé à un décodeur relais, autre élément fonctionnel du système crossbar 4A. Le décodeur a transmis des demandes de traduction d'acheminement d'appel du marqueur au traducteur sous la forme de trois à huit chiffres décimaux codés dans un code redondant deux sur cinq. Le décodeur a accepté les informations d'itinéraire codées du traducteur en retour.

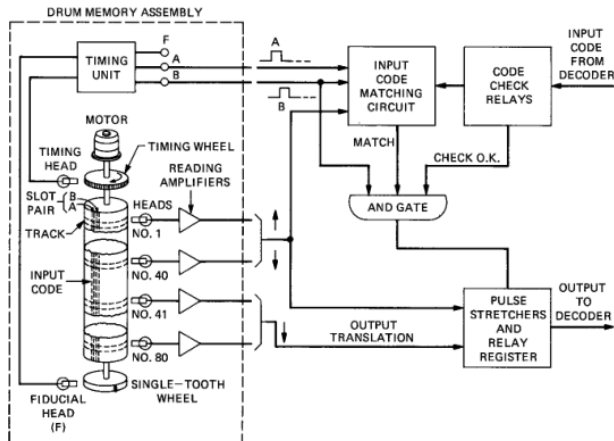


Fig. 9-13. Conception d'un traducteur de tambour magnétique expérimental, destiné à être utilisé avec le crossbar n° 4.

Comme indiqué, le traducteur à tambour magnétique a été conçu pour fonctionner de la même manière que le traducteur à carte 4A; ainsi, le traducteur de batterie pourrait être ajouté à un système 4A fonctionnel sans changement. Un bureau de péage 4A peut être équipé jusqu'à 18 décodeurs et traducteurs de cartes 4A associés. Étant donné que le tambour magnétique lit toutes ses données de traduction en série à chaque révolution de 35 millisecondes, un seul ensemble de mémoire à tambour aurait pu être multiplié en un certain nombre d'unités de livraison et de sélection pour desservir les 18 décodeurs. Un deuxième tambour aurait servi de rechange pour l'entretien et l'administration. Le tambour magnétique serait mis à jour via un cadre administratif, qui pourrait être connecté aux têtes de lecture/écriture du tambour. Ainsi, une ou deux opérations de mise à jour permettraient de mettre à jour de manière fiable l'ensemble de l'outil de traduction.

Le traducteur à tambour magnétique a été poussé au point de démontrer que le tambour conserverait les informations de traduction sur de longues périodes de temps sans détérioration. La conception n'était pas une conception de production de début de commutation électronique, et elle n'a pas été poussée plus loin dans la mesure où le choix du traducteur de carte pour le développement de la barre transversale n° 4A avait déjà été fait. Le traducteur de tambour magnétique a de nouveau été revu au début des années 1960 pour une application aux systèmes de barres transversales de péage 4A et 4M, mais a de nouveau été abandonné au profit d'une approche de contrôle de programme stocké plus puissante.

4.3.4 Émetteur auxiliaire à tambour magnétique

Le début de la numérotation directe à distance (DOD) en 1951 exigeait que les systèmes de commutation acceptent, traitent et transmettent aux bureaux centraux de connexion plus de chiffres (généralement 10 au lieu de 7) du client. Cela signifiait que les systèmes de commutation locaux comprenant "pas à pas", panel et crossbar devaient enregistrer plus de chiffres et "envoyer" ou transmettre plus d'informations à d'autres nœuds du réseau DOD.

Ainsi, la capacité d'un nombre substantiel de registres et d'expéditeurs devait être augmentée dans chaque bureau central pour que ce bureau fasse partie du réseau ODD.

L'émetteur à tambour magnétique a été proposé comme moyen électronique pour répondre à ce besoin.

La figure 9-14 montre un schéma de principe de l'émetteur auxiliaire à tambour magnétique tel qu'arrangé pour un modèle de laboratoire d'un bureau à barre transversale n° 1. Le scanner utilisait une logique à diodes pour scanner séquentiellement 156 expéditeurs toutes les dix millisecondes pour les impulsions de numérotation. Le scanner était synchronisé avec les circuits de lecture/écriture du tambour magnétique et donc avec les emplacements de mémoire correspondants sur le tambour. En comparant le résultat du balayage avec le contenu de la mémoire du tambour, le contrôle de l'espace de l'expéditeur déterminerait le nombre d'impulsions dans le chiffre, les temps internumériques et l'achèvement des chiffres reçus. Lorsque tous les chiffres avaient été reçus, le contrôle spatial de l'expéditeur attribuerait alors l'un des six émetteurs à l'expéditeur et convertirait la lecture des chiffres en séquence pour sélectionner le train approprié de deux tonalités multifréquences sur cinq à transmettre à le bureau lointain.

L'appareil comprenait un tambour étroit tournant à 1500 tours par minute.

La figure 9-15 est une photographie du tambour et la figure 9-16 est une illustration de la disposition du tambour. Cette dernière figure montre la mémoire d'un "espace émetteur" - occupant environ un quart de pouce carré de la surface d'enregistrement du tambour, mais fournissant l'équivalent de plus de 50 relais de registres à chiffres conventionnels.

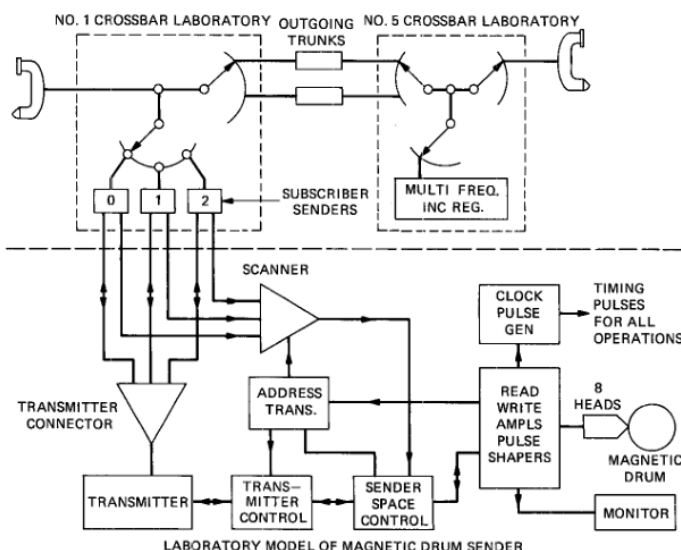


Fig. 9-14. Émetteur auxiliaire à tambour magnétique (tambour en bas à droite dans le diagramme), une tentative d'appliquer l'électronique aux problèmes d'expansion de la numérotation directe à distance. (AIEE Transactions on Communications and Electronics, Vol. 77, mars 1958.) Les débuts de la commutation électronique.

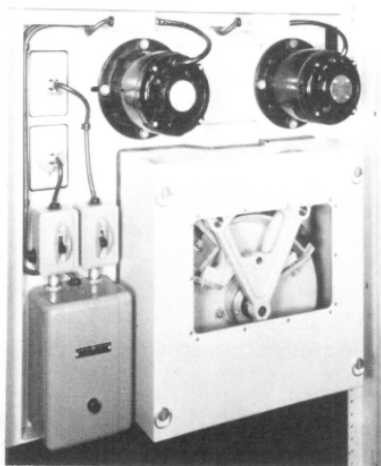


Fig. 9-15. Unité à tambour magnétique de l'expéditeur auxiliaire, vers 1953 (AIEE Transactions on Communications and Electronics, Vol. 77, mars 1958.)

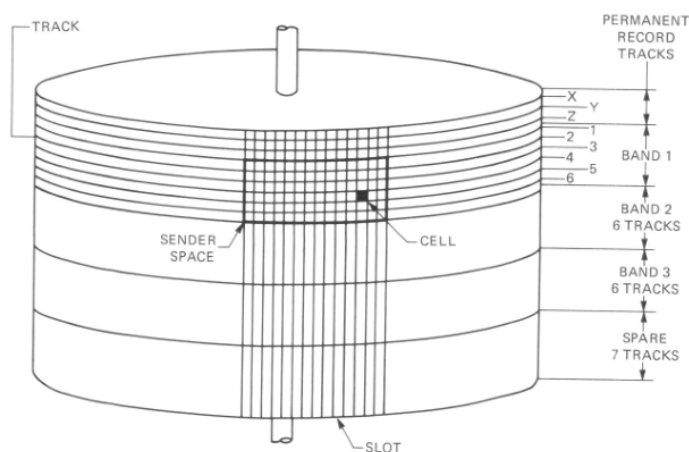


Fig. 9-16. Répartition de l'espace sur le tambour. L'espace émetteur tel qu'indiqué équivalait à plus de 50 relais. (AIEE Transactions on Communications and Electronics, Vol. 77, March 1958.)

La simplicité relative de la logique du système est due à la possibilité de réécrire dans une fente de tambour plusieurs microsecondes après que la lecture de cette même fente a été obtenue. Un chiffre partiel peut être lu à partir du tambour et mis à jour lorsqu'il est indiqué par un résultat de numérisation et la nouvelle valeur du chiffre réécrite, le tout dans les 17 microsecondes.

Bien que l'émetteur auxiliaire du tambour magnétique utilisait largement la logique des transistors et des diodes, il nécessitait toujours des circuits de lecture / écriture à tube à vide pour le tambour lui-même. Ses ingénieurs avaient prévu la conception pour la production, mais l'économie n'était pas prometteuse et les plans de développement spécifiques ont été abandonnés au début de 1954 en faveur d'une conception électromécanique (voir chapitre 8, section III).

Les travaux de W. Ulrich et B. J. Yokelson sur la conception de la logique à diodes et des scanners à diodes, qui ont été utilisés dans l'étape suivante de l'application de l'électronique aux systèmes de commutation du central, ont été inclus dans l'effort sur l'expéditeur auxiliaire à tambour magnétique.

Conclusion

Des études sur les systèmes avaient suggéré que l'électronique à grande vitesse devrait fournir des systèmes de commutation centralisés plus petits et moins coûteux. Des remplacements électroniques pour plusieurs éléments fonctionnels de systèmes de commutation électromécaniques ont été conçus, construits et testés en laboratoire ou lors d'essais sur le terrain, mais n'étaient pas rentables.

Les questions concernant la fiabilité et la maintenabilité n'avaient pas reçu de réponse complète. Les composants électroniques à cathode chaude et à tube à vide poussé n'avaient des durées de vie utiles que de quelques années, même lorsqu'ils fonctionnaient de manière conservatrice. Les roulements des mémoires à tambour magnétique n'avaient des durées de vie que de quelques années.

Au début des années 1950, le transistor à jonction a commencé à être fabriqué et des techniques ont été développées pour la croissance de monocristaux, pour l'affinage de zone et pour l'implantation d'ions. Ces facteurs ont conduit à des éléments électroniques qui, comparés aux tubes à vide, étaient moins chers, plus petits et plus fiables, et consommaient beaucoup moins d'énergie. Les tubes à rayons cathodiques pour stocker des informations, qui autrement auraient nécessité des dizaines de milliers de fils ou de relais, ont également fourni une technologie puissante pour envisager l'étape suivante : la construction d'un système de commutation complet principalement à partir de composants électroniques. Les travaux théoriques sur l'analyse et la synthèse des circuits combinatoires et séquentiels, et le développement de schémas de détection et de correction d'erreurs plus puissants, ont permis aux concepteurs de circuits de commutation électroniques d'économiser leurs conceptions et de rendre les circuits plus fiables et maintenables. Les modèles de laboratoire et les systèmes d'essais sur le terrain ont fourni un arrière-plan d'expérience avec certains des dispositifs antérieurs à partir desquels les performances des nouvelles technologies pouvaient être projetées au début de la commutation électronique.

4.4 Vers un centre électronique Office-Pre-Morris

Bien que l'application de l'électronique n'ait pas encore atteint le stade de la production, les conceptions se rapprochaient du point de faire leurs preuves, et les travaux ont été autorisés en juillet 1953 pour construire des modèles de laboratoire de parties d'un bureau central électronique et éventuellement pour assembler les pièces dans un bureau central squeletté dans le laboratoire. Le travail a été initié par AT&T parce que le système proposé impliquait beaucoup de choses radicalement nouvelles, à la fois dans les circuits et les éléments de l'appareil.

Les possibilités pour le central électronique par rapport aux systèmes de commutation existants se sont avérées être un coût initial nettement inférieur, des économies d'espace importantes, moins d'entretien et une plus grande flexibilité pour répondre aux exigences changeantes du service.

Le développement d'un système spécifique par les Bell Labs a été autorisé par Western Electric un an plus tard pour développer un système d'essai sur le terrain à partir duquel un premier système de production pourrait être atteint. Initialement, le département d'A.E. Joel dans le laboratoire de C.A. Lovell a été affecté à cette tâche, et les travaux ont commencé à l'emplacement de West Street, à New York. Le laboratoire de Lovell a déménagé au laboratoire de Whippany, New Jersey à l'automne 1954. En mai 1955, les travaux avaient progressé jusqu'au stade de la "breadboard" « planche à pain », et l'effort s'était étendu à la construction d'un modèle d'essai sur le terrain utilisant la technologie du modèle de laboratoire.

L'appareillage du système de laboratoire comprenait des transistors à jonction en alliage de germanium (types complémentaires npn et pnp) et des diodes de contact ponctuel au germanium. Bien que ces dispositifs n'aient pas été utilisés dans la version de production d'un système de commutation électronique (ESS), la discipline consistant à limiter la variété des transistors et des diodes pour les économies de fabrication a été suivie.

La Fig. 9-17 montre des cartes de circuits imprimés enfichables typiques et les connecteurs correspondants auxquels des connexions enroulées seraient réalisées pour construire des unités fonctionnelles à partir de ces blocs de construction. Sur ces packs étaient placés les portes ET et OU à diodes, les amplificateurs inverseurs et non inverseurs à transistors et les bascules. Ces blocs de construction ont été interconnectés pour construire les fonctions logiques nécessaires dans les différents types d'équipements. La figure 9-18 montre une matrice typique montée en rack des packages logiques.

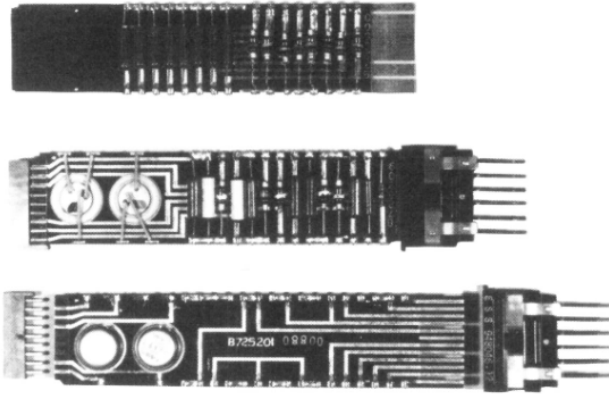


Fig. 9-17. Circuits et connecteurs enfichables utilisés dans le système de commutation électronique du modèle de laboratoire du milieu des années 1950. Les cartes de circuits logiques mesurent 11 pouces de large sur 7 à 9 pouces de long et se connectent à des connecteurs à enroulement de fil à 12 bornes.

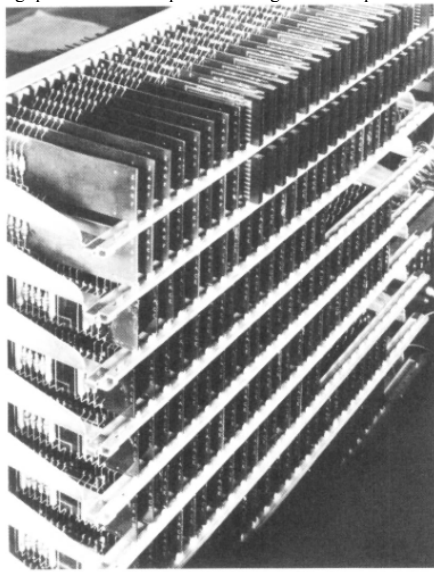


Fig. 9-18. Ensemble de packages logiques monté en rack.

Les autres composants du système comprenaient le magasin de grille de barrière décrit précédemment et le magasin photographique ou de point de vol suggéré par C. E. Brooks et d'autres (voir ci-dessus, sections 4.1.2 et 4.1.3).

En juin 1954, un changement radical dans l'utilisation du magasin "flying-spot" est suggéré dans une note interne rédigée par W. Keister.

Les circuits de commande à diodes et transistors en cours de conception étaient des circuits séquentiels complexes. Keister savait que le comportement complet des circuits pouvait être représenté par une table de nombres dont les entrées seraient des nombres binaires représentant les sorties du circuit de contrôle et son prochain état interne. En mettant en mémoire la description totale des circuits de commande, la complexité des circuits de commande apparaîtrait dans le tableau plutôt que dans les circuits logiques à diodes et transistors. Keister a noté: "L'ingénierie détaillée d'un grand nombre de circuits logiques serait éliminée. Pour changer une séquence d'actions, ajouter de nouvelles fonctions ou modifier les anciennes, il suffirait de changer le programme dans la mémoire permanente. "

En juin 1955, W. A. Budlong et A. H. Doblmaier concevaient les circuits de commande séquentielle du central électronique. Ils constataient que la taille et la complexité des circuits mettaient à rude épreuve les limites des règles de conception des circuits logiques à transistors et à diodes semi-conductrices. De plus, des changements relativement mineurs dans les exigences ont souvent entraîné des changements importants dans la conception du circuit, ce qui n'augurait rien de bon pour l'ajout ultérieur de nouvelles fonctionnalités pour répondre aux besoins changeants des clients ou des sociétés d'exploitation. À cette époque, Budlong avait lu un article dans le journal de l'Institute of Radio Engineers décrivant un ordinateur numérique et avait été frappé par la similitude de ce que l'ordinateur pouvait faire et des actions requises des circuits de contrôle. Il a commencé à concevoir des instructions adaptées à la tâche de traitement des appels téléphoniques et d'écriture d'exemples de programmes. Cette approche a été surnommée Stored Logic in Memory (SLIM) par A. E. Joel, Jr. et a souligné les économies de circuit à réaliser avec cette technique de mise en œuvre d'un contrôle commun.

L'idée a commencé à prendre de l'ampleur; cependant, la nouvelle technique nécessitait beaucoup plus de stockage dans le magasin du "flying-spot" et la vitesse de fonctionnement devait être sensiblement augmentée. R. W. Ketchledge et R. E. Staehler ont pris connaissance de cette proposition et ont commencé à travailler sur des idées pour améliorer les performances du système de mémoire. Cela a abouti à plusieurs inventions de ces ingénieurs qui ont utilisé des techniques d'asservissement pour améliorer suffisamment les performances du magasin de "flying-spot". En septembre 1955, Lovell et Ketchledge décidèrent de passer au contrôle des programmes enregistrés et la révolution dans la conception des systèmes de commutation téléphonique était en cours. La première réautorisation du financement de Western Electric au début de 1956 a noté ce changement d'événements

Le modèle de laboratoire a été assemblé et les premiers programmes de commutation téléphonique ont été écrits pour ce modèle.

La figure 9-19 est une vue du modèle de laboratoire construit au laboratoire de Whippany, New Jersey. À ce moment-là, Morris, dans l'Illinois, avait été sélectionné pour le site d'essai sur le terrain, et le système modèle est devenu connu sous le nom de «pré-Morris». Le premier appel téléphonique a été passé par ce système en mars 1958.

Pour les raisons données précédemment, les systèmes pré-Morris et plus tard Morris utilisaient le réseau de tubes à gaz. Cela nécessitait le nouveau téléphone à faible puissance utilisant une sonnerie électronique, qui a été testé sur le terrain à Crystal Lake, dans l'Illinois, avant son utilisation dans l'essai Morris.

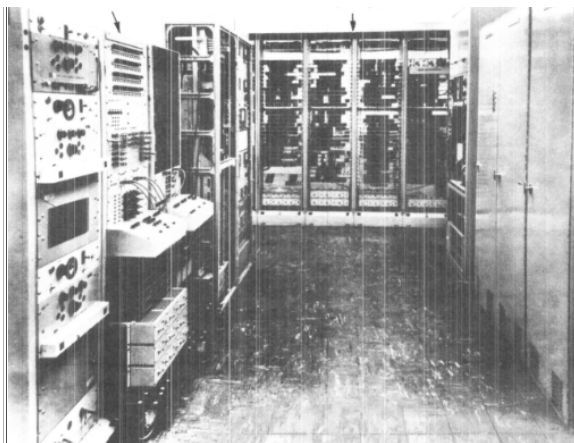


Fig. 9-19. Le système de commutation électronique de modèle de laboratoire "pré-Morris" à programme enregistré. Le premier appel téléphonique via ce système a été passé en mars 1958.

4.5 PBX électronique

En 1955, plusieurs propositions ont été faites pour fournir un PBX d'autocommutateur privé moderne dans les plus petites tailles de lignes - certaines pour desservir aussi peu que 20 à 50 lignes.

Une proposition utilisait des relais et des commutateurs crossbar, mais ajoutait des transistors, des diodes semi-conductrices et des noyaux magnétiques pour exploiter leur plus petite taille et leur vitesse beaucoup plus rapide dans un système autonome.

Une deuxième proposition consistait à adopter le concentrateur à relais à diodes à gaz précédemment décrit comme interrupteur des locaux du client ; le bureau central contiendrait une ou plusieurs unités de commande qui seraient partagées par un certain nombre d'unités de commutation basées sur le client. Le contrôle communiquerait avec les commutateurs via une liaison de données, et les liaisons PBX du commutateur se termineraient au bureau central contenant l'unité de contrôle. Sur la base de ces idées, le développement fondamental a été financé en mars 1956 et s'est poursuivi jusqu'en 1958.

Une troisième proposition pour le réseau du nouveau PBX appelait à placer des échantillons vocaux contrôlés électroniquement sur un « bus parlant ». Deux télé-téléphones pourraient être connectés en faisant en sorte que leurs signaux électriques soient échantillonnés en même temps. D'autres conversations pourraient être entrelacées de la même manière.

L'approche du commutateur par répartition dans le temps a même été préférée aux propositions par répartition dans l'espace dans la mesure où les éléments de commutation du réseau augmenteraient en fonction du nombre de lignes desservies, au lieu du carré de ce nombre.

La Fig. 9-20 montre la configuration de base des circuits de commutation et de commande pour le PBX électronique (EPBX).

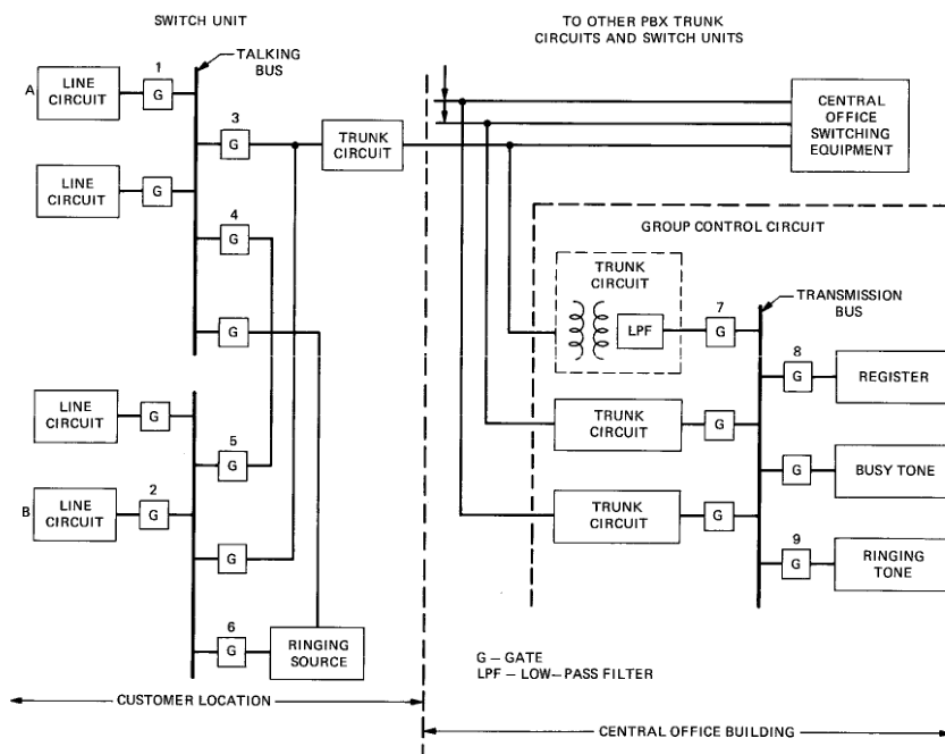


Fig. 9-20. Schéma fonctionnel du PBX électronique, qui utilisait un réseau de commutation par répartition dans le temps et une configuration à deux bus. Les circuits de contrôle dans le bureau central ont accès à jusqu'à 32 commutateurs à divers emplacements de clients.

Deux bus parlants sont représentés dans le schéma fonctionnel pour fournir une capacité supérieure à celle disponible avec un système à bus unique. Interconnecter la ligne A à la ligne B nécessite l'utilisation de la connexion interbus via les portes 4 et 5.

L'effort de développement fondamental s'est concentré sur la conception des éléments de l'interrupteur temporel, les systèmes de mémoire appropriés pour les mémoires électroniques de l'interrupteur, ainsi que les exigences et la logique de l'unité de commande. Les modèles de planche à pain et de brassboard de laboratoire ont démontré la faisabilité technique et, en septembre 1958, le développement spécifique de la production d'EPBX a été autorisé par Western Electric. Comme dans le projet Morris, la conception de l'unité de contrôle de l'EPBX est passée d'une logique câblée à une logique stockée avant son essai sur le terrain.

4.6 L'essai sur le terrain de Morris

Avec la conception et la construction réussies du système de laboratoire pré-Morris, le développement du système Morris s'est poursuivi, en appliquant des dispositifs et appareils identiques ou très similaires.

Un réseau de tubes à gaz marqués d'extrémité a fourni les fonctions de concentration et de distribution, et un scanner de ligne a détecté l'état décroché/raccroché ainsi que les signaux d'impulsion de numérotation et les signaux de flash de commutateur.

La logique à diodes et transistors au germanium constituait les blocs de construction logiques pour la commande centrale et les autres unités fonctionnelles, et la mémoire à grille de barrière et la mémoire à points volants fournissaient le bloc-notes et les mémoires de programme. L'organisation du système est illustrée à la Fig. 9-21.

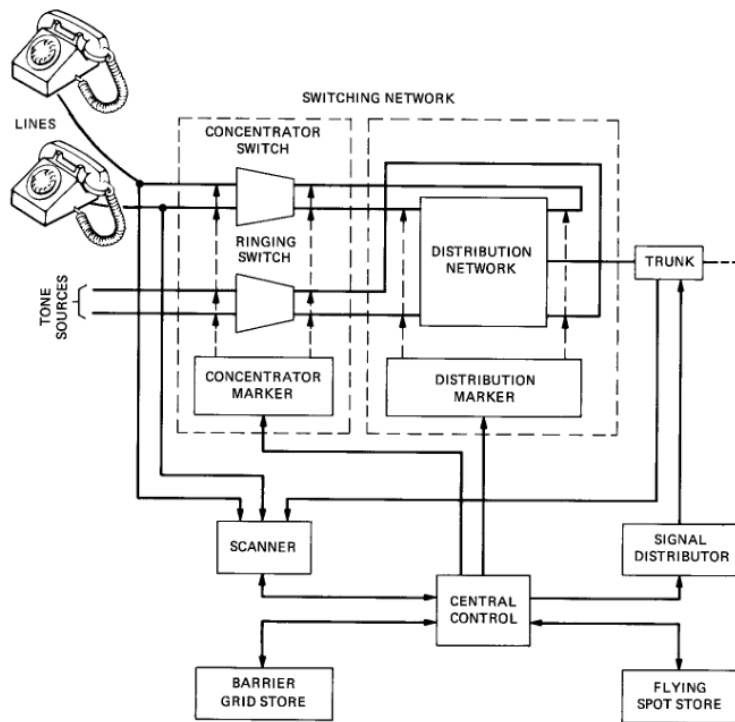


Fig. 9-21. Organisation du système Morris, Illinois. La plupart des dispositifs et appareils étaient similaires à ceux utilisés pour le système pré-Morris.

Le marqueur a exécuté l'ordre du réseau transmis par la commande centrale et a fourni un tampon entre la vitesse de fonctionnement de 3 microsecondes de la commande centrale et les millisecondes nécessaires au marqueur pour trouver et marquer une connexion dans le réseau de tubes à gaz. Le distributeur de signaux servait d'autre dispositif de mise en mémoire tampon qui acceptait les informations d'adresse codées à des vitesses de la microseconde et sélectionnait les relais à actionner et à libérer. La plupart des relais étaient associés aux divers circuits interurbains.

L'élément de croisement du réseau de commutation, le tube à gaz à cathode froide, est illustré à la Fig. 9-22.

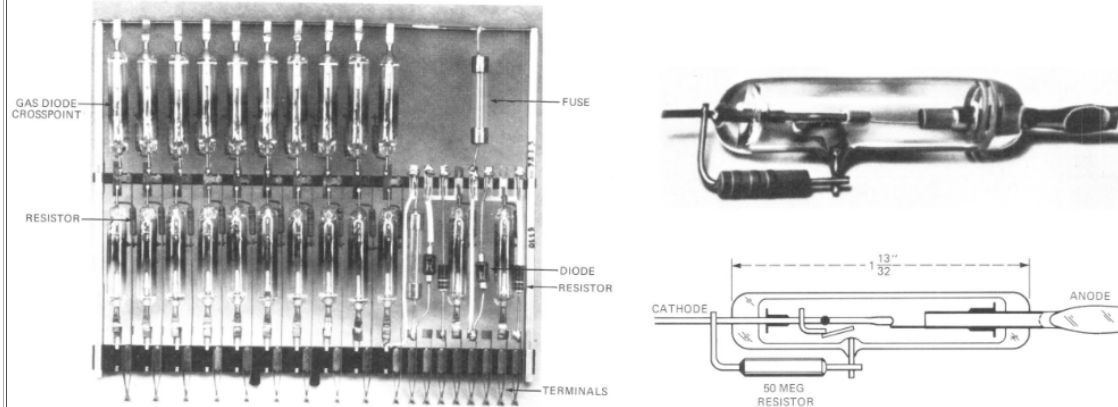


Fig. 9-22. Point de croisement du tube à gaz (en haut) et module de réseau enfichable (en bas) pour le système Morris. En plus de sa fonction de commutation, l'appareil amplifie les signaux vocaux.

C'est un tube au néon qui nécessite l'application de 200 volts pour provoquer l'ionisation et la conduction.

Lorsque le tube conduit, sa tension chute à 110 volts et 10 milliampères de courant circulent. Dans cet état, l'appareil possède une résistance alternative négative qui amplifie les petits signaux (courants de conversation) transmis à travers lui. Ce gain compense les pertes dans les transformateurs et autres circuits du réseau. Un chemin unique à travers le réseau Morris est illustré à la Fig. 9-23.

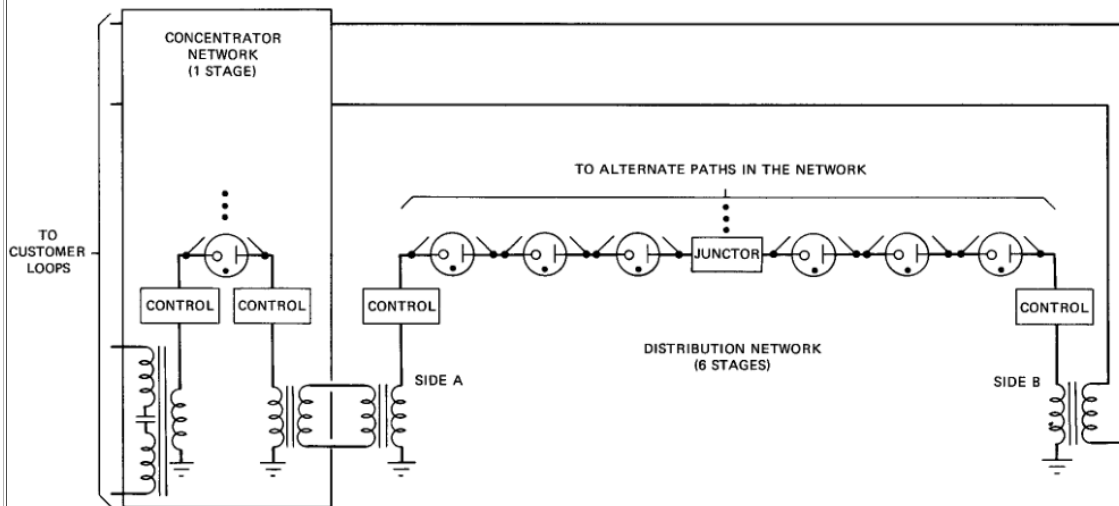


Fig. 9-23. Chemin à travers le réseau de commutation de tubes à gaz du système Morris

Comme indiqué sur la Fig. 9-24, le marqueur de réseau (seule la partie de distribution est représentée par souci de simplicité) a reçu les adresses de borne de la connexion souhaitée et a utilisé cette information pour appliquer des tensions de marquage à chaque extrémité du réseau. Les signaux de tension propagés vers l'étage central ou joncteur du réseau.

Les signaux ne traversaient pas les points de croisement occupés et étaient donc «exclus» d'éventuelles doubles connexions. Le signal de marquage s'est propagé à travers des points de croisement inactifs, et le signal de marquage de chaque extrémité du réseau s'est propagé à un certain nombre de terminaux de chaque côté de l'étage de jonction au milieu du réseau. L'étage joncteur comprenait un ensemble de circuits joncteurs qui étaient séquentiellement interrogés ou permettaient de trouver un circuit joncteur qui avait le signal de marquage présent aux deux bornes. Lorsque cette condition était obtenue, une tétrode à tube à gaz spéciale s'ionisait et les diodes à gaz sélectionnées s'allumaient et restaient allumées après que les tensions de marquage et de validation du joncteur aient été supprimées. Les chemins non sélectionnés se sont désionisés et seule la connexion souhaitée est restée. Les nombreuses connexions possibles qui ont été testées séquentiellement avec les circuits de jonction ont fourni au réseau sa redondance pour fonctionner avec des éléments de réseau occasionnellement défaillants et pour répondre aux faibles exigences de blocage pour son trafic technique.

Une fois un chemin établi, la "mémoire" de la connexion était l'état conducteur des diodes à gaz. Pour libérer la connexion, une tension de marquage négative était appliquée au terminal du client dont le signal de raccrochage avait été détecté en premier.

Ce signal s'est propagé à travers les diodes à gaz et le circuit de jonction et a libéré la connexion. L'opération de déblocage a généré une impulsion sur la borne du raccordement du second client. Cette impulsion a été détectée et traduite (dans un circuit d'identification non représenté sur la Fig. 9-24) en l'adresse du terminal. Cette information a ensuite été lue par le contrôle central afin qu'il puisse mettre à jour sa mémoire occupé-inactif pour refléter la déconnexion du deuxième client.

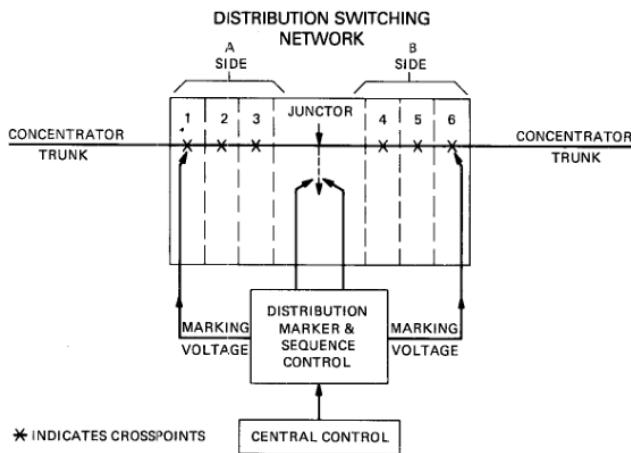


Fig. 9-24. Connexion parlante du système Morris montrant les tensions de marquage qui ont provoqué la propagation des signaux de commande de connexion à l'étage de jonction du réseau.

La figure 9-25 montre les réseaux de concentration et de distribution à Morris.

Des lampes fluorescentes à l'intérieur des armoires excitaient un matériau photoélectrique déposé à l'intérieur de chaque diode. Cela a servi à fournir un nombre suffisant d'électrons libres dans le gaz pour assurer une ionisation rapide du gaz en réponse aux signaux de tension de marquage. Le signal de sonnerie était une tension de fréquence audio de bas niveau qui pouvait être transmise à travers les tubes de gaz et la ligne transformateurs. (Les signaux de sonnerie normaux de 90 volts étaient trop importants pour traverser le réseau de diodes à commutation électronique.)

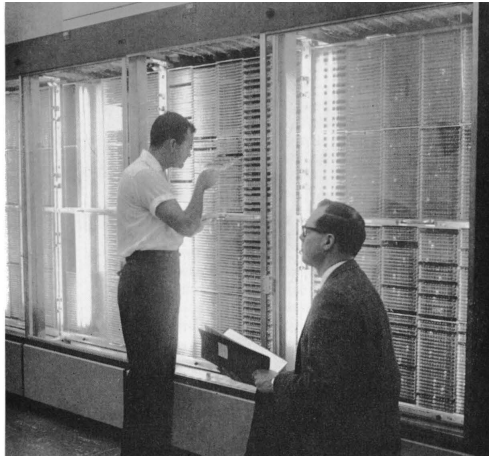


Fig. 9-25

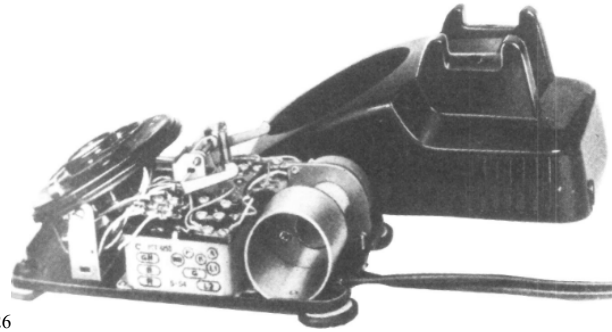


Fig. 9-26

Fig. 9-25. Réseaux de concentration et de distribution du système Morris. Les lampes fluorescentes excitaient suffisamment d'électrons libres pour que les tubes à gaz fonctionnent. D. T. Osmonson vérifiant le fonctionnement d'un module de tubes à gaz dans le réseau.

Fig. 9-26. Poste téléphonique utilisé dans le procès Morris. Le circuit à transistor fournissait une amplification à la fois pour la tonalité de sonnerie et pour la parole. les cloches sont connues sous le nom de "sonnerie de tonalité".

Le téléphone illustré à la Fig. 9-26 utilisait deux transistors dans un amplificateur accordé pour détecter une fréquence de sonnerie particulière et amplifier le signal. pour conduire le klaxon miniature montré sur la photo. Ce substitut électronique à l'électromécanique. L'amplificateur accordé a détecté différentes fréquences pour différents téléphones de ligne de groupe et a ainsi fourni une sonnerie entièrement sélective pour jusqu'à huit parties. Lorsque le récepteur a été retiré, les contacts de l'interrupteur ont reconfiguré les transistors en un amplificateur de parole. Cela réduisait la puissance de ligne requise et le courant réduit permettait l'utilisation d'un transformateur de ligne plus petit connectant la boucle du client au réseau de commutation.

Le magasin "flying spot" de Morris était nettement plus grand et plus rapide que le modèle de laboratoire. Le passage de la logique câblée au contrôle par programme enregistré a entraîné la conception de circuits d'entraînement et de rétroaction plus sophistiqués pour réduire le temps d'accès et augmenter le nombre de canaux de données.

La figure 9-27 montre le réseau multiple d'objectifs, de plaques photographiques et de photomultiplicateurs de détection qui, avec le tube à rayons cathodiques, ont fourni une mémoire de 2,2 millions de bits. Pour obtenir la haute précision et la rapidité des opérations requises du magasin de points volants, un certain nombre de canaux ont accédé à des plaques photographiques, qui étaient des plaques de code donnant une réponse unique pour chacune des 256 valeurs de déviation verticale et horizontale du faisceau.

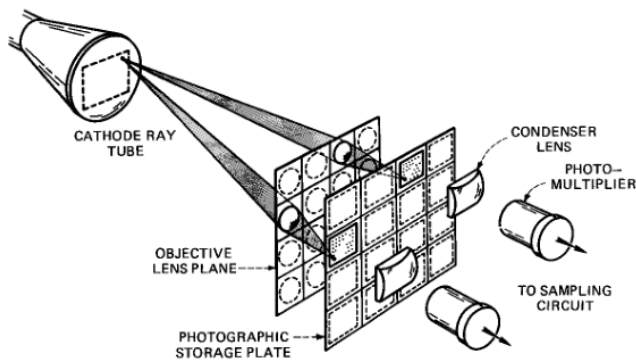


Fig. 9-27. Morris flying-spot store, qui fournissait une mémoire de 2,2 millions de bits. (Actes, Assemblée générale d'automne, IEEE, octobre 1960.) Les débuts de la commutation électronique.

Comme le montre la Fig. 9-28, cette information a fourni le signal d'erreur pour un système de déviation de rétroaction, qui a atteint une précision de déviation de faisceau autrement impossible à atteindre. En combinant l'entraînement direct et à rétroaction, la vitesse de fonctionnement de la mémoire a été augmentée de sorte que des mots d'instruction successifs de 25 bits puissent être lus par la commande centrale toutes les 2,5 microsecondes. Pour fonctionner avec des imperfections occasionnelles dans les plaques photographiques (la densité d'information était d'environ 42 000 bits par pouce carré dans un réseau de 256 par 256 de points opaques et clairs), chaque mot d'instruction comprenait un Hamming de 5 bits.

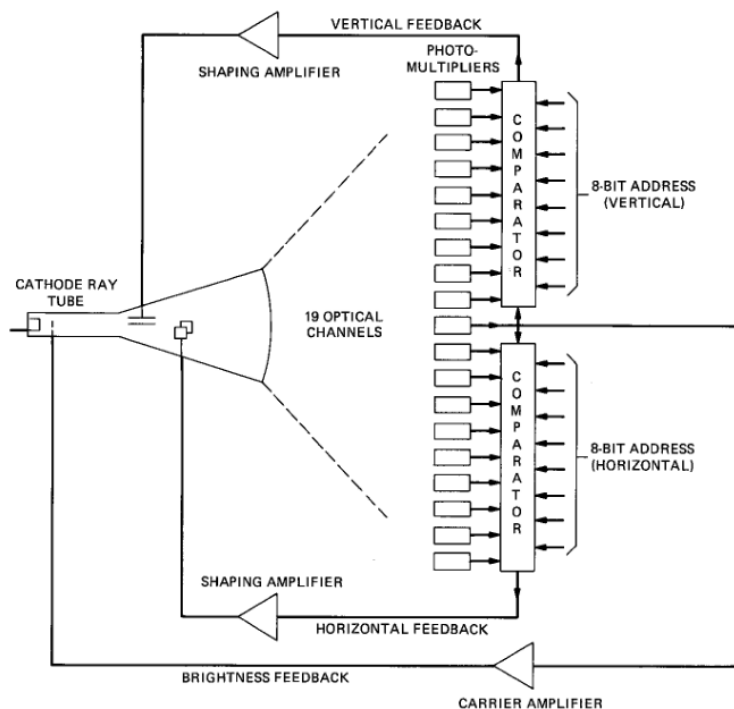
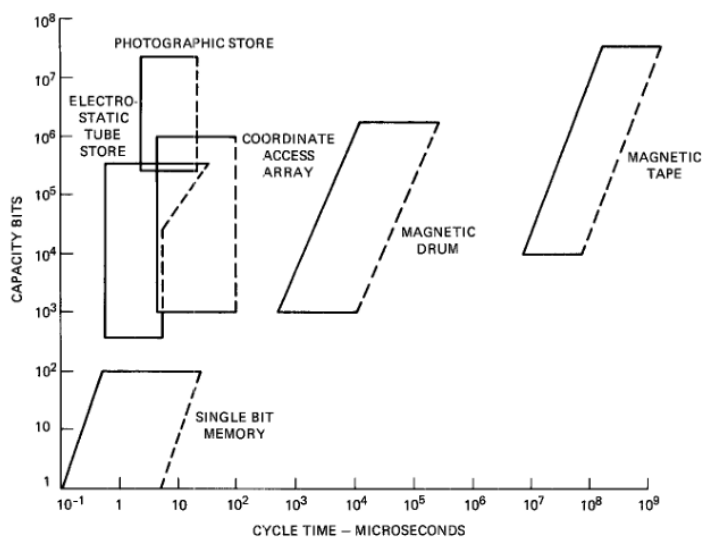


Figure 9-28. Systèmes de rétroaction de déviation horizontale et verticale utilisés pour augmenter la précision du faisceau à des niveaux auparavant inaccessibles. (Proceedings, General Fall Meeting, IEEE, octobre 1960.)

Le programme Morris nécessitait 50 000 instructions, dont un tiers contenait les fonctions d'exploitation du téléphone et les deux tiers restants étaient utilisés pour la maintenance et l'administration. Cela équivalait à 1,2 million de bits de mémoire à accès aléatoire à grande vitesse pour le programme seul. La mémoire de traduction était également stockée dans cette mémoire. Comme on peut le voir sur la figure 9-29, qui représente l'état de l'art à la fin de 1956, la mémoire de point de vol répondait le mieux



aux besoins de grands programmes stockés semi-permanents.

Fig. 9-29. En 1956, un magasin de photographie a fourni une mémoire morte électronique facilement modifiable avec la meilleure combinaison de capacité et de vitesse.

L'essai sur le terrain de Morris a commencé avec un service à temps partiel le 1er juin 1960 et a été développé jusqu'à un service 24 heures sur 24 le 11 novembre 1960. En juin 1961, un pic de 434 téléphones principaux (total d'environ 650 téléphones principaux et supplémentaires) étaient en service et se sont maintenus à ce niveau ou près de ce niveau pour le reste de l'essai, qui s'est terminé en janvier 1962. Morris a prouvé la solidité fondamentale des contrôles de programme pour les systèmes de commutation téléphonique et a fourni l'expérience et les connaissances nécessaires à la conception de la production d'ESS. Une fois le système ébranlé, Morris a pu fonctionner avec une disponibilité de près de 99,99 %. À la fin de l'essai, les rapports de problèmes des clients étaient tombés en dessous de la moyenne nationale pendant plusieurs semaines à la fois. En excluant les pannes de tube à vide et de diode à gaz, le circuit logique à semi-conducteur pa12ks a échoué à un taux de moins de deux paquets de 11 000 par mois, et pendant les six derniers mois de l'essai sur le terrain, il n'y a eu qu'une seule panne de paquet logique.

Le plan de maintenance Morris a été conçu pour simplifier la maintenance en permettant au système lui-même d'effectuer l'essentiel des tests, des analyses et des rapports de panne. Dans la plupart des cas, la tâche du personnel de maintenance consistait uniquement à rechercher un rapport de panne imprimé dans un dictionnaire de maintenance pour trouver l'emplacement d'un module de plug-in défectueux et le remplacer.

Cette technique a été employée avec succès par des artisans qui avaient reçu divers niveaux de formation dans l'administration et l'entretien de Morris. En outre, de nombreux clients disposaient de nouvelles fonctionnalités d'appel qui n'étaient disponibles nulle part auparavant. La numérotation abrégée permettait au client de composer un code à deux chiffres; la mémoire contenait le code et le numéro de bureau à sept chiffres correspondants, qui ont été utilisés pour terminer l'appel. Le client a remis au personnel administratif du central une liste de numéros à sept chiffres correspondant à quatre codes à deux chiffres disponibles.

Une autre caractéristique était la possibilité, sous la direction du client, de transférer automatiquement les appels vers un autre numéro de téléphone, spécifié en composant les codes de commande et le deuxième numéro désigné.

Le système stocke automatiquement les informations requises et transfère les appels vers le nouveau numéro jusqu'à ce que la fonction soit annulée par la composition par le client d'un second code de commande spécifié. Non seulement le contrôle par programme enregistré a fourni les nouvelles fonctionnalités sans matériel supplémentaire, mais ces capacités ont été ajoutées avec des modifications et des ajouts relativement modestes au programme et à l'espace en mémoire.

Apporter les mêmes modifications aux systèmes de l'art antérieur aurait été beaucoup plus étendu et coûteux. Cet avantage, ainsi que le haut degré d'automatisation de la maintenance grâce à l'utilisation de la commande par programme enregistré, ont été les moteurs de la révolution dans la conception des systèmes de commutation téléphonique.

4. 7 nouveaux appareils

Au cours du développement exploratoire du PBX électronique et du central électronique Morris, de nombreuses innovations ont été apportées aux systèmes de mémoire, aux

périphériques réseau et aux éléments logiques. Les diverses améliorations ont été étudiées et essayées ; certains ont été adoptés, d'autres rejetés. Au moment où le système Morris était opérationnel, une révolution technologique avait rendu obsolètes tous ses principaux composants. Cette révolution a abouti à de grandes mémoires magnétiques, à de nouveaux éléments de réseau et à l'introduction de transistors en silicium et de circuits à diodes. Un bref examen de certains des appareils nouveaux ou améliorés suit.

4.7.1 Systèmes de mémoire

Les pré-Morris et Morris utilisaient deux mémoires à accès aléatoire à grande vitesse, auxquelles la commande commune accédait indépendamment et simultanément à l'exécution de son programme. Le magasin "flying-spot" contenait le programme et les données qui restaient constantes sur une période de temps allant de quelques semaines à plusieurs années. Elle était connue comme une mémoire semi-permanente dans la mesure où elle nécessitait une intervention humaine pour modifier son contenu ; le programme était ainsi protégé contre sa propre destruction par inadvertance. Une deuxième mémoire servait de bloc-notes pour les informations changeant rapidement telles que le nombre d'impulsions de numérotation et les données de trafic. C'était ce qu'on appelait une mémoire temporaire, et dans le système Morris, le magasin de grille de barrière était utilisé à cette fin.

Il est intéressant de noter que cet agencement de stockage double n'était pas utilisé dans les ordinateurs à usage général de l'époque, car ils n'avaient pas les exigences de fiabilité strictes imposées à la commande de programme stocké utilisée dans les systèmes de commutation du bureau central. Un avantage supplémentaire de l'arrangement est la lecture simultanée d'instructions de programme et la lecture ou l'écriture de données, ce qui se traduit par des vitesses de traitement de données supérieures à celles pouvant être obtenues avec une seule mémoire.

La mémoire de torsion à aimant permanent - annoncée par Bell Laboratories en 1959 - fournissait un stockage aussi rapide que la mémoire centrale, conservait ses données de manière fiable et était nettement moins cher que les mémoires centrales équivalentes. La mémoire du twistor est basée sur les propriétés magnétiques d'une bande de permalloy enroulée en hélice autour d'un fil de cuivre fin, comme illustré à la Fig. 9-30.

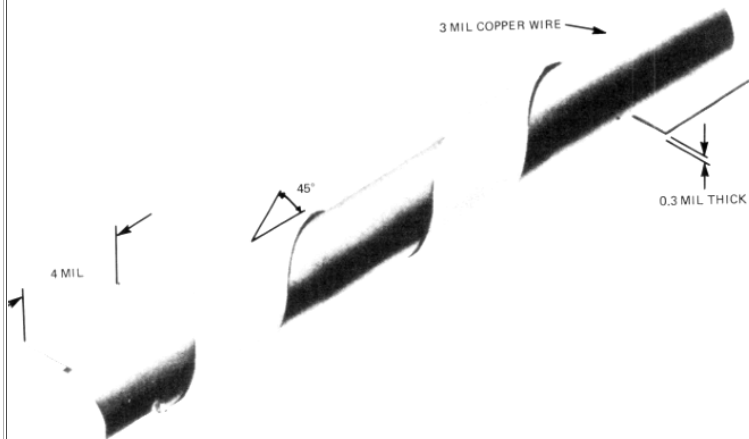


Fig. 9-30. Construction de la mémoire du twistor, 1963 : une bande de permalloy enroulée en hélice autour du fil de cuivre..

A cette époque, la mémoire twistor offrait des performances supérieures à celles des noyaux magnétiques à accès à courant coïncident. Pour faire fonctionner une mémoire centrale de taille équivalente aux vitesses atteignables avec le twistor, il aurait fallu beaucoup plus de puissance de fonctionnement.

Le twistor à aimant permanent ou la mémoire PMT a été utilisé pour la première fois dans les systèmes militaires dans des capacités de mémoire relativement petites. Les débuts de la commutation électronique, mais des mémoires beaucoup plus grandes ont été construites et signalées peu de temps après. La mémoire PMT est devenue un concurrent du magasin "flying-spot" pour le modèle de production de l'ESS.

Un autre concurrent développé par les ingénieurs des Bell Labs était la mémoire capacitive stockage ou "capstore". C'était simplement une matrice de condensateurs auxquels des impulsions d'entrée étaient appliquées sur les lignes de mot et les condensateurs individuels connectés aux lignes de bit de sortie. Comme le montre la Fig. 9-31, la valeur binaire du mot a été déterminée par la présence ou l'absence de condensateurs de couplage entre les lignes de mot d'entrée et les lignes de bit de sortie.

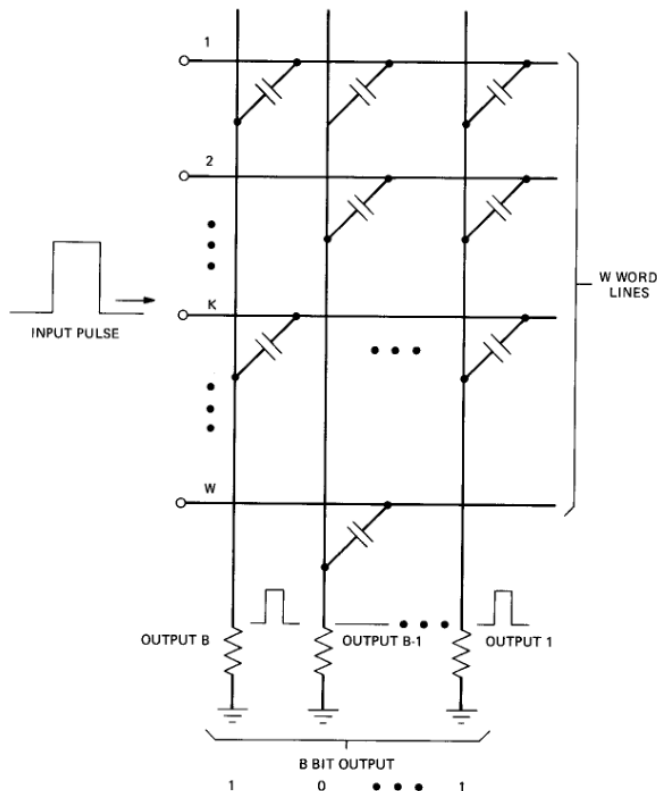


Figure 9-31. Schéma montrant le concept de la mémoire capstore : les mots ont été construits à partir de motifs de condensateurs de couplage. (Transactions IRE sur les ordinateurs électroniques, EC-10 septembre 1961.)

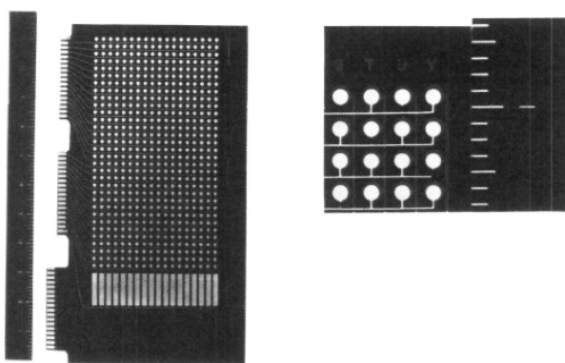
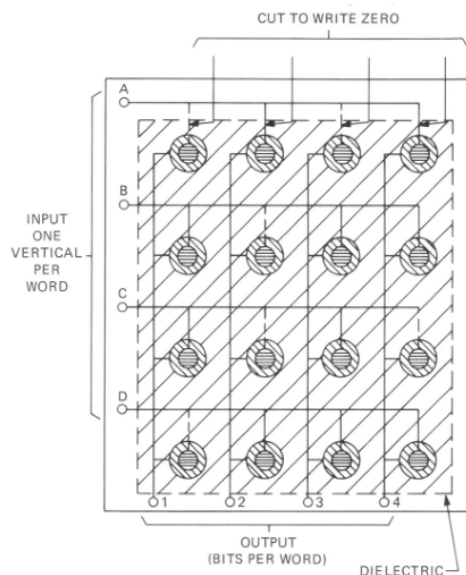


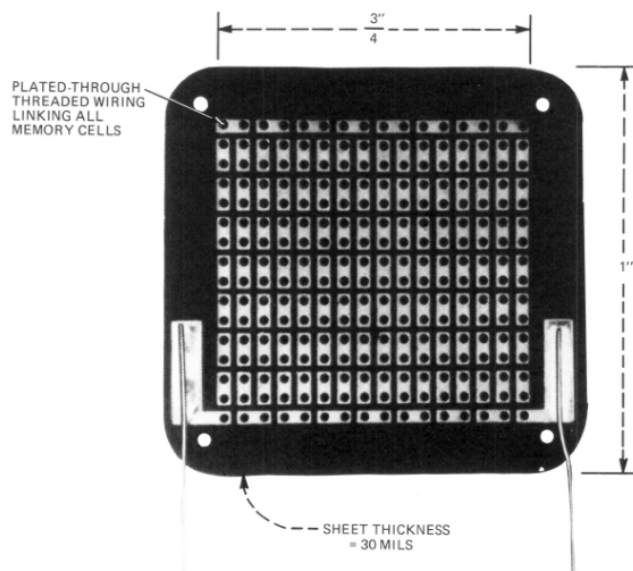
Figure 9-32. En haut : agencement des motifs cuivre et diélectrique formant les condensateurs. En bas : photo d'un capstore d'une capacité de 32 mots de 18 bits chacun. (IRE Transactions on Electronic Computers, septembre 1961.)

La Fig. 9-32 montre une sous-matrice fabriquée par lot de 32 mots avec 18 bits par mot. Des motifs de cuivre gravés séparés par une fine couche de mylar formaient les condensateurs et les lignes de mots et de bits. En coupant sélectivement les connexions entre les lignes de bit verticales et les anodes de condensateur individuelles, des zéros sont formés à ces emplacements de bit et de mot. Les dérivation non coupées restantes représentent des dérivations binaires. Un zéro peut être reconverti en un par l'application d'une peinture conductrice. Un magasin de 1024 mots par 34 bits a été construit et utilisé dans le modèle brassboard de l'EPBX.

La lourdeur du changement de mémoire et la nature linéaire de l'accès au circuit, qui limitaient sévèrement toute croissance substantielle de la taille du magasin, ont interdit son utilisation dans le modèle de production de l'EPBX. Cependant, des années plus tard, le capstore a très bien servi dans les ordinateurs scientifiques en tant que magasins de microprogrammes à grande vitesse.

Dans le domaine des mémoires temporaires, la mémoire à noyau magnétique était devenue la mémoire dominante dans les systèmes informatiques commerciaux et scientifiques. Les techniques d'accès à courant coïncident ont permis de concevoir des mémoires dont la taille et le coût croissent comme la racine carrée de la taille totale de la mémoire. Cependant, la vitesse de fonctionnement en mode courant coïncident était limitée et diverses approches pour surmonter cette limitation ont été explorées lors du développement de l'EPBX et de l'ESS de production. Une technique consistait à polariser la matrice de noyau à courant coïncident afin que des courants de commande plus importants puissent être appliqués pour accélérer l'action de commutation sur les noyaux. Des techniques d'accès au noyau biaisées ont également été utilisées avec des matrices de noyau qui pilotaient les enroulements de solénoïde des circuits d'accès PMT.

Une autre approche était le magasin de feuilles de ferrite. La feuille de ferrite, illustrée à la Fig. 9-33, était un moyen de fabrication par lots pour surmonter le coût élevé de la technique alors utilisée de filetage manuel d'une grande matrice de noyau. Au moment où la conception de la production d'ESS a commencé, il était entendu que le plus petit bureau nécessiterait des centaines de milliers de bits de mémoire temporaire. Le résultat était que la feuille de ferrite présentait un avantage économique par rapport aux mémoires à noyau conventionnelles.



4.7.2 Périphériques réseau et de numérisation

Bien que le réseau de tubes à gaz ait fonctionné de manière satisfaisante lors de l'essai sur le terrain de Morris, il présentait suffisamment de problèmes pour justifier l'exploration de technologies alternatives. Comme prévu, le taux de défaillance des tubes à gaz était significativement plus élevé que celui attendu des transistors et des diodes. Même pendant les premières étapes de planification, les transistors étaient considérés comme le dispositif de production du réseau, et les tubes à gaz ont été acceptés pour être utilisés à Morris comme approche provisoire.

Un agencement de deux transistors à jonction dans une "connexion en crochet", comme le montre la figure 9-34, donne un commutateur bistable qui peut être marqué c un tube à gaz. Les mêmes caractéristiques de fonctionnement peuvent être obtenues avec la fabrication par lots pour éviter l'assemblage et le filetage manuels des matrices magnétiques de noyaux soit obtenue dans un seul dispositif à quatre couches - la diode pnpn - également illustrée à la Fig. 9-34. Contrairement à la diode à gaz, les commutateurs bistables à semi-conducteurs ont une certaine perte à l'état "marche", de sorte que les réseaux constitués de ces éléments dégraderaient davantage la transmission que le tube à gaz. De même, l'impédance "off" du pnpn et de la connexion crochet était inférieure à celle des tubes à gaz. L'impédance "off" réduite dégraderait la marge de diaphonie. D'autre part, le pnpn offrait non seulement un appareil plus fiable, mais qui fonctionnait sur des tensions beaucoup plus basses, consommait beaucoup moins d'énergie et était beaucoup plus compact.

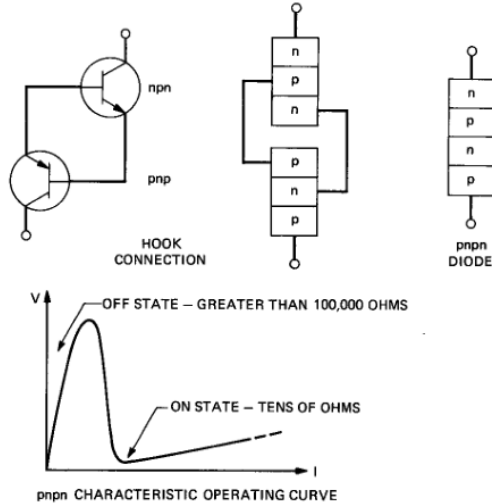


Image 9-34. Alternatives à l'état solide pour les commutateurs réseau : en haut à gauche, la configuration « crochet » des transistors ; en haut à droite, la diode pnpn. Ci-dessous, courbe caractéristique tout ou rien de la diode pnpn. tensions et courants sans circuits spéciaux. Cela a supprimé le coût supplémentaire des circuits d'accès et de protection spéciaux et a éliminé la nécessité de passer aux nouveaux téléphones.

L'une des principales limitations des éléments de réseau électronique était leur incapacité à gérer directement certaines des signalisations téléphoniques conventionnelles et à tester les tensions et / ou les courants. Par exemple, dans les systèmes de commutation crossbar, un téléphone sonne en connectant sa boucle à travers le réseau de commutation à un générateur de sonnerie. Le signal de sonnerie requis pour faire fonctionner la sonnerie est nominale de 86 volts r.m.s. à 20 hertz superposé à 48 volts de. Pour collecter ou rendre des pièces, un signal de 130 volts est envoyé à travers le réseau vers les téléphones à pièces. Les circuits de test nécessitent également des déconnexions électriquement transparentes via le réseau de commutation vers la boucle du client.

Des circuits d'accès et de protection spéciaux ont dû être ajoutés à chaque ligne pour accueillir les réseaux électroniques, que le réseau électronique soit à division spatiale ou à division temporelle.

Le système Morris a abordé la gestion de la sonnerie avec un nouveau téléphone contenant une sonnerie basse tension, mais d'autres exigences pour les lignes à pièces et PBX et les tests de boucle n'ont pas été résolues lors de l'essai sur le terrain.

Bien que l'utilisation de la diode pnpn comme point de croisement de réseau ait été vigoureusement poursuivie, l'invention du commutateur ferreed (une contraction de ferrite et de reed magnétique) par A. Feiner, C. A. Lovell, T. N. Lowry et P. G. Ridinger est rapidement devenue la solution économique. Il était basé sur un petit interrupteur Reed sec, auquel était ajoutée une structure de verrouillage magnétique qui pouvait être actionnée et libérée avec des commandes électroniques. En même temps, il a fourni des contacts métalliques qui pouvaient gérer la large gamme de signalisation et de test existants npn pnp.

La figure 9-35 montre une version antérieure (1960) du ferreed qui utilisait de la ferrite frittée en poudre; Ceci était connu sous le nom de "marquage destructif" et éliminait le besoin d'ouvrir des points de croisement fermés à la fin d'une connexion avec peu de risques

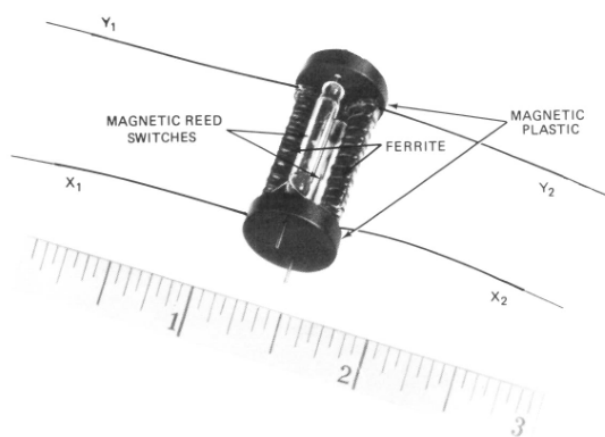


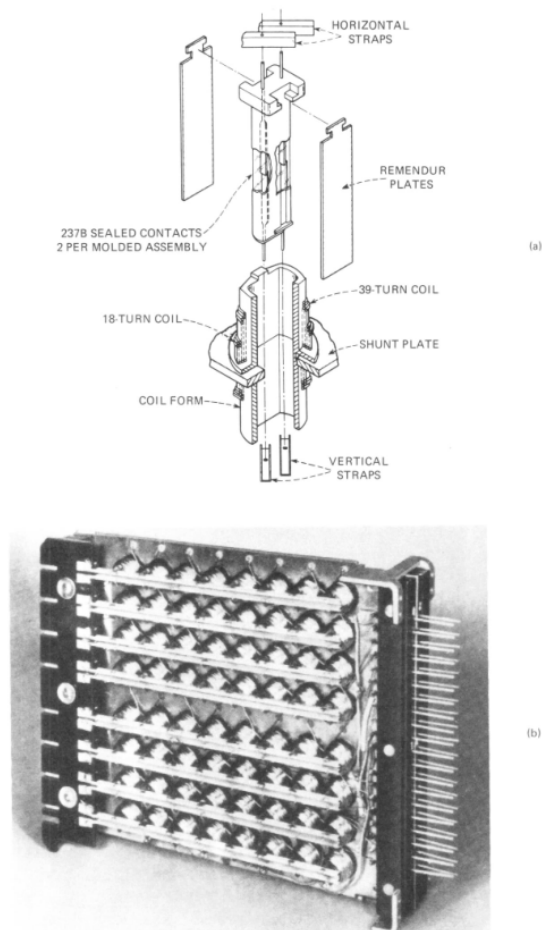
Figure 9-35. Commutation ferrée expérimentale utilisant des tiges et des disques de fer rite en poudre et frittés pour verrouiller les interrupteurs à lames magnétiques sous verre

Les enroulements différentiels (X1, X2, Y1, Y2) sont pulsés simultanément pour fermer les contacts ; les impulsions de l'un ou l'autre des enroulements provoquent à elles seules l'ouverture des contacts. Les débuts de la commutation électronique.

La figure 9-36 montre le modèle de production, qui utilisait Remendur comme verrou magnétique.

Les points de croisement ferrés ont été assemblés en commutateurs matriciels, et les réseaux ont été construits à partir de ces commutateurs d'une manière topologiquement similaire aux réseaux de commutateurs crossbar. Lors de l'exploitation d'un point de croisement dans un commutateur matriciel ferré, cependant, des techniques très différentes sont utilisées pour la commande. Des courants simultanés à travers les enroulements horizontaux et verticaux du point de croisement sont nécessaires pour le faire fonctionner. Le courant à travers un seul enroulement fera tomber un point de croisement fermé ou le laissera inchangé s'il est ouvert. Les commutateurs individuels étaient disposés dans une matrice de sorte que tous les enroulements horizontaux d'une rangée étaient connectés en série, et tous les enroulements verticaux d'une colonne étaient également connectés en série.

Le courant simultanément à travers une ligne et une colonne a ainsi actionné le point de croisement à l'intersection et libéré tous les autres points actionnés sur la même ligne et la même colonne .



C'était ce qu'on appelait le "marquage destructif" et qui éliminait la nécessité d'ouvrir des croisements fermés en fin de raccordement avec peu de risque de doubles raccordements, tout en simplifiant grandement le contrôle de l'établissement et du démontage des raccordements. La taille du commutateur a été choisie en tenant compte du coût du contrôle, des configurations du réseau, de la taille des trames résultantes et du coût du commutateur. L'ESS n° 1 utilise principalement un commutateur huit par huit. Un nombre binaire est géré plus efficacement par un programme stocké, et les autres facteurs ont déterminé la préférence pour 8 au lieu de 4 ou 16. Dans les réseaux précédents, un troisième fil, le manchon, était commuté avec la pointe et l'anneau pour former la mémoire de l'état des connexions dans le réseau. Plutôt que d'utiliser cette technique, l'état du ferreed était conservé dans une mémoire temporaire de masse, appelée «carte», et maintenu en phase avec l'état réel du réseau via le programme. Cela réduisait le coût du système total et permettait au programme de "réserver" des chemins en mémoire avant la connexion réelle à établir. Pour balayer les lignes et les circuits à la recherche d'origines, de déconnexions, d'impulsions de numérotation, etc., les tensions de raccrochage et de décrochage associées polarisaient les éléments de diode semi-conductrice dans le scanner d'essai sur le terrain de Morris. Les impulsions d'interrogation seraient en conséquence transmises ou bloquées. Bien que de conception simple, des réseaux de composants élaborés ont été associés à chaque diode pour la protéger des hautes tensions et courants et pour équilibrer les signaux alternatifs induits longitudinalement. Cela a conduit à l'invention du "Ferrod" par J. A. Baldwin et H. F. May. Avec le Ferrod raccroché et décroché, les courants de boucle étaient magnétiquement couplés par des enroulements à un bâton de ferrite, qui avait la taille d'une grande allumette en papier. La différence de courants permettrait ou inhiberait sélectivement le couplage d'impulsions d'un enroulement d'interrogation à un enroulement de détection. Des enroulements équilibrés annulaient les signaux d'interférence induits longitudinalement, et le couplage magnétique plutôt que direct de la boucle à l'électronique d'interrogation et de détection protégeait cette dernière des croisements de lignes électriques ou des coups de foudre.

La figure 9-37 montre le Ferrod dans ses applications les plus omniprésentes.

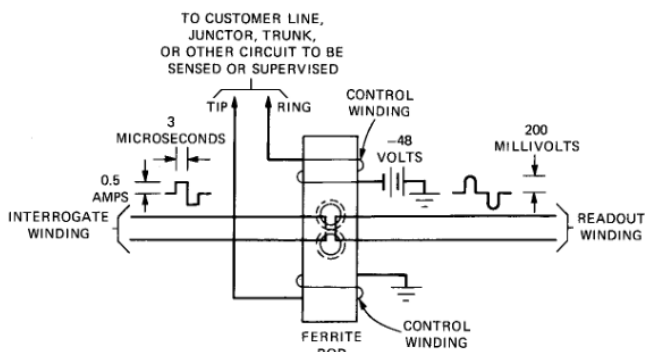


Figure 9-37. Point de balayage Ferrod utilisé dans ESS. Les dispositifs typiques utilisés dans le balayage de ligne satureraient à un courant de boucle de 10 milliampères et fourniraient un couplage maximal des enroulements d'interrogation et de lecture pour 5 milliampères ou moins.

4.7.3 Éléments logiques

Les éléments logiques du Morris ESS étaient des portes ET et OU à diodes à contact ponctuel avec des étages de jonction en alliage de transistors au germanium pour fournir un gain et/ou une inversion logique. Un catalogue de cartes électroniques "universelles" a fourni les blocs de construction logiques de ce système. Une approche différente pour fournir des éléments logiques « universels » a été proposée pour l'EPBX et l'ESS de production. Les concepteurs du PBX ont choisi d'utiliser une seule porte composée de résistances et de transistors à jonction diffusée au silicium ; la porte NOR de base pourrait être utilisée dans combinaison pour générer les fonctions AND, OR et INVERT nécessaires.

Les concepteurs de circuits ESS lors de la conception de la production ont opté pour la porte NAND plus chère mais plus rapide nécessitant des diodes et des transistors au silicium. Sa consommation d'énergie moindre et son ventilateur plus élevé ses capacités d'entrée et de sortie l'ont rendu attrayant pour les concepteurs du SSE n° 1.

Les familles logiques décrites sont indiquées à la Fig. 9.38.

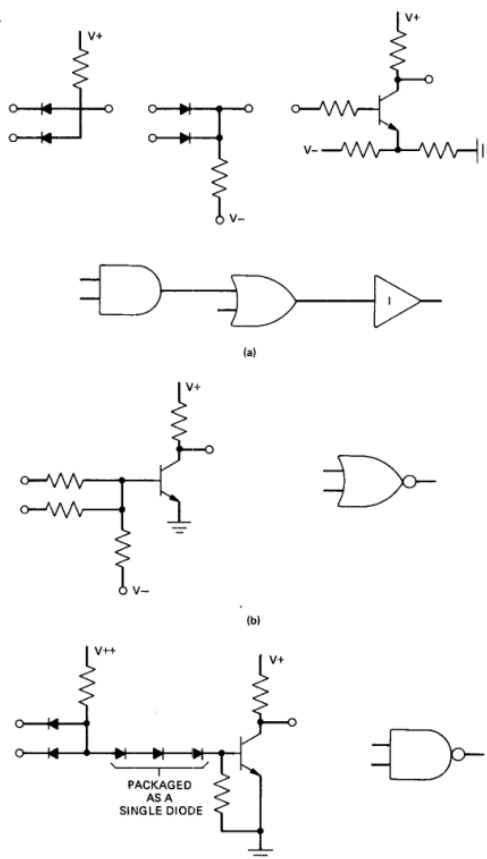


Figure 9-38. Éléments logiques utilisés dans (a) la conception de Morris, (b) l'autocommutateur privé électronique et (c) le système de commutation électronique de production. la diode pnnp comme point de croisement du réseau.

V. LE DEVELOPPEMENT DE LA COMMUTATION ELECTRONIQUE

En 1958, le développement de l'ESS chez Bell Labs à Whippany, New Jersey consistait en deux efforts majeurs. L'effort principal, en termes de personnel, a consisté à achever les conceptions matérielles et logicielles du système Morris. Cela comprenait l'écriture et l'utilisation de simulateurs pour tester le logiciel avant qu'il ne puisse être testé dans le laboratoire système. Le laboratoire du système était une réplique fonctionnelle complète du système de Morris, dans l'Illinois, et a été utilisé pour tester le matériel et les logiciels fonctionnant ensemble comme un système.

Et, alors que le développement du système Morris était en cours d'achèvement, un deuxième effort parallèle de Whippany a été lancé sur la conception du premier système de production, l'ESS n° 1.

5.1 De Morris au début de l'ESS n°1

L'autorisation de développer l'ESS a été approuvée par Western Electric en mars 1958, le même mois que le premier appel a été placé dans le système pré-Morris. À ce moment-là, il a été reconnu que le tube à gaz serait probablement remplacé et que des transistors et des diodes au silicium à jonction diffuse plus performants étaient plus adaptés à la conception de la production. Le fonctionnement en série du magasin de grille de barrière a également été considéré comme trop lent pour le fonctionnement du processeur à grande vitesse.

En 1960, tous les principaux composants matériels avaient été sélectionnés. Cela comprenait le point de croisement ferrod, le magasin de torsion à aimant permanent pour les données de programme et de traduction, le magasin de feuilles de ferrite pour les données transitoires, et la diode et les transistors au silicium pour le circuit logique. Il est intéressant de noter que tous les choix représentaient le meilleur choix en termes de consommation d'énergie. L'utilisation d'un système de climatisation "fiable" pour répondre à la plage de températures de fonctionnement requise dans un environnement de bureau central normal suscite de vives inquiétudes. Une climatisation fiable nécessitait un équipement de production d'énergie de secours coûteux pour sauvegarder l'alimentation commerciale.

Le système d'essai sur le terrain de Morris a fourni de nombreuses informations fondamentales pour le système de production. Le plus important était la faisabilité du contrôle du programme enregistré pour fonctionner de manière fiable en temps réel, 24 heures par jour. Les principales unités fonctionnelles ont été dupliquées et le système comprenait des vérifications opérationnelles pour le matériel et les logiciels. Des programmes spéciaux, connus sous le nom de programmes de dépannage, ont été lancés en réponse aux échecs de ces contrôles opérationnels. Les programmes ont rapidement identifié l'équipement défaillant (réseau, mémoire, unité de contrôle, etc.) et l'ont automatiquement mis hors service, laissant le double prendre le relais. Le système pourrait automatiquement isoler et supprimer les unités défectueuses, et ainsi continuer à faire fonctionner Morris même si des composants pouvaient tomber en panne ou fonctionner par intermittence. La sagesse de cette philosophie de conception a été confirmée par une disponibilité sans précédent pour un système électronique aussi complexe, supérieure à 99,99 % sur une période de plusieurs mois.

Un "rapport final" sur Morris, daté de mars 1963, déclare : En excluant les pannes dues à la défaillance de l'installation de climatisation, les pannes des 11 à 114 derniers mois ont été en moyenne de 4 secondes par jour ou moins de 0,005 %. un système expérimental qui contenait environ 75 000 diodes semi-conductrices, 12 000 transistors, 30 000 tubes à gaz et 2 000 tubes à vide. Le système Morris a prouvé que des systèmes de commutation électroniques complexes pouvaient être maintenus en fonctionnement essentiellement continu pendant de longues périodes. se sont avérés relativement faciles à mettre en œuvre avec un contrôle par programme enregistré ont été inclus dans l'essai de Morris.

Les «services Belltronic», comme on les appelait, comprenaient la numérotation abrégée, l'appel par code, le transfert de numérotation, etc. La réponse des clients a été évaluée et jugée très positive.

L'essai Morris a démontré la valeur des techniques de maintenance corrective, par lesquelles une unité défectueuse a été diagnostiquée pour déterminer la réparation, et la réparation a été effectuée en remplaçant quelques packs de plug-in.

L'essai a également démontré l'intérêt de générer un "dictionnaire" des schémas de défaillance et d'avoir un accès aux tests adéquat pour les programmes de diagnostic. Dans l'ensemble, l'utilisation de programmes stockés pour aider les artisans à faire fonctionner et à entretenir l'équipement du bureau central devait être un avantage clé dans les conceptions ultérieures du système.

Bien que les changements dus à l'évolution technologique aient été largement répandus dans le matériel du système, la solidité de l'architecture fondamentale et de l'approche du programme stocké a été prouvée à Morris, Illinois. Le vaste essai sur le terrain comprenait une année de service fiable à plein temps, autour du quai, pour plus de 400 clients.

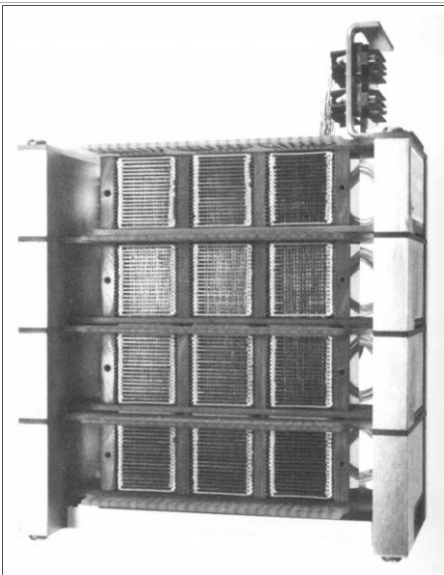
Peu de temps après que le vice-président JA Morton a engagé la feuille de ferrite dans les systèmes de commutation électroniques en évolution, le développement a été transféré à Allentown, en Pennsylvanie, où une équipe conjointe Bell Laboratories-Western Electric a introduit avec succès la feuille de ferrite dans la fabrication.

La mémoire a d'abord été utilisée dans les commutateurs électroniques 1ESS et 101ESS.

Pour le plus petit bureau, le magasin d'appels du commutateur électronique 1ESS contenait quatre modules de mémoire à feuille de ferrite organisés pour stocker 8192 mots, chacun de 24 bits de long. Plusieurs unités étaient utilisées dans les grands bureaux. Plus tard, une organisation différente de cette mémoire a également été utilisée dans les premières installations du commutateur électronique 2ESS.

La production de la mémoire à feuille de ferrite a commencé chez Western Electric en 1963. La même année, elle a été introduite dans le premier bureau utilisant 101ESS.

La mémoire de feuille de ferrite, telle qu'utilisée dans l'équipement de commutation ESS. Un module se composait de 12 blocs de 16 feuilles et d'une feuille de rechange. Chaque bloc stocke 4096 bits. Quatre modules composent un call store organisé en 8 192 mots de 24 bits



5.2 Le développement du SSE No.101

Le PBX électronique a été renommé n° 101 ESS pour indiquer qu'il devait faire partie d'une famille de systèmes de commutation électronique Bell System.

Comme décrit précédemment, l'examen des nouvelles technologies a parfois pris des directions différentes pour les projets ESS n° 1 et ESS n° 101, mais là où des économies de développement et de fabrication étaient indiquées, des choix communs ont prévalu. Ainsi, le torseur à aimant permanent et le magasin de tôles de ferrite ont été sélectionnés pour la commande commune des ESS n° 1 et n° 101. En passant du modèle de brassboard à la conception de production, l'ESS n° 101 a également adopté l'approche du programme stocké, car la flexibilité de la conception pour obtenir de nouvelles fonctionnalités sophistiquées et des aides à l'exploitation et à la maintenance étaient importantes pour la conception du PBX ainsi que au n°1 ESS.

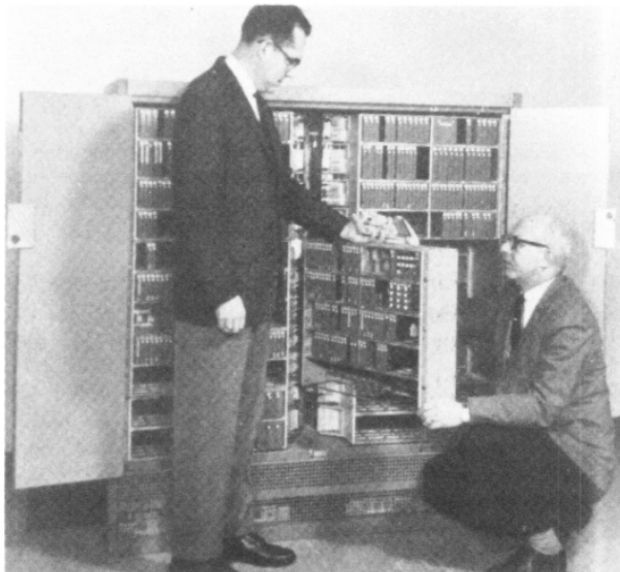
L'ESS n° 101 comprenait un réseau temporel à modulation d'impulsions en amplitude (PAM). Cela a été sélectionné pour être utilisé dans les unités de commutation afin d'exploiter la grande vitesse et la petite taille des composants semi-conducteurs. La complexité compensatoire de l'interfaçage avec les tensions et les courants de signalisation se limitait à fournir des commandes de sonnerie spéciales dans chaque circuit de ligne et des circuits de détection d'impulsions de numérotation dans chaque circuit de réception de chiffres. Les circuits de détection d'impulsions transmettent directement les signaux TOUCH-TONE et convertissent les impulsions de numérotation en rafales de tonalités de fréquence audio qui sont détectées par l'unité de commande. D'autres signaux spéciaux et un accès de test commuté, considérés comme essentiels dans les centraux téléphoniques, n'étaient pas nécessaires dans les applications PBX.

Le laboratoire de développement ESS n° 101 sous la direction de W. A. Depp a été l'une des premières organisations techniques à être déplacée vers le nouveau bâtiment Holmdel, New Jersey Bell Laboratories au printemps 1962. Là, un modèle de laboratoire à grande échelle a été construit et exploité, pour l'achèvement de la conception du système. Une installation d'essai sur le terrain a été exploitée à partir de mars 1963 à New Brunswick, New Jersey avant la première installation commerciale. L'essai comprenait deux clients commerciaux et New Jersey Bell. Les débuts de la commutation électronique.

5.2.1 Conception initiale

Un ESS n° 101, la première installation commerciale de commutation électronique, utilisant un contrôle par programme enregistré, est entré en service à Cocoa Beach, en Floride, le 30 novembre 1963. À cette époque, chaque unité de commutation gère jusqu'à 200 lignes, et l'unité de contrôle avait une capacité de 3200 lignes et 32 unités de commutation. Chaque unité de commutation à 200 lignes possède deux bus de 25 tranches de temps chacun ; toutes les lignes et jonctions ont accès aux deux bus, comme illustré à la Fig. 9-20. Le bus double sert des conférences téléphoniques à 3 et 4 voies. Si un bus tombe en panne, il reste encore 25 créneaux horaires disponibles pour toutes les lignes et lignes réseau. La capacité de transport d'appels avec un seul bus est suffisante pour gérer toutes les charges de trafic sauf les plus lourdes.

La Fig. 9-39 illustre l'unité de commutation à 200 lignes et montre la facilité d'accès pour les ajouts et le remplacement des ensembles de circuits de ligne et de commutation. L'unité de commande ESS n° 101 est fonctionnellement organisée comme illustré à la Fig. 9-40.



La Fig. 9-39 illustre l'unité de commutation à 200 lignes et montre la facilité d'accès pour les ajouts et le remplacement des ensembles de circuits de ligne et de commutation. L'unité de commande ESS n° 101 est fonctionnellement organisée comme illustré à la Fig. 9-40.

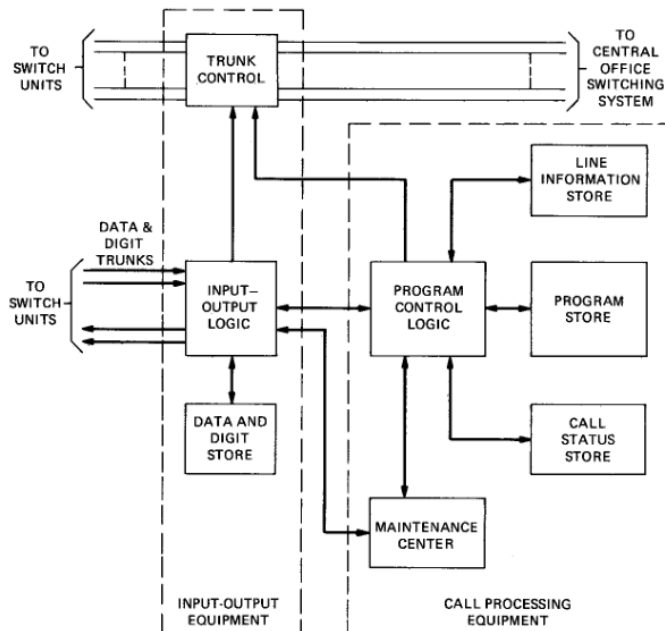


Figure 9-40. Schéma de l'unité de commande n° 101 ESS. La mémoire d'information de ligne et la mémoire de programme sont des mémoires de torsion à aimant permanent ; la mémoire d'état d'appel et la mémoire de données et de chiffres sont des mémoires à feuille de ferrite. (IEEE Transactions on Communications and Electronics, Vol. 83, juillet 1964.)

La mémoire d'informations de ligne contient des informations sur la classe de service et des données pour les services verticaux, telles que les listes de numérotation abrégée pour chaque ligne desservie. La mémoire d'informations de ligne est la seule unité fonctionnelle non dupliquée. Le système est conçu pour fournir un service de base lorsque la mémoire d'informations de ligne est hors service, et le coût supplémentaire d'une mémoire en double pour les caractéristiques verticales a été considéré comme injustifié. La mémoire de programme et la mémoire d'informations de ligne sont des mémoires de torsion à aimant permanent.

La mémoire d'état d'appel contient des blocs successifs de 4 mots associés à chaque tranche de temps dans chaque unité de commutation. Le premier mot de chaque bloc est la "marque de progression d'appel". La marque de progression d'appel indique l'état de l'appel dans son intervalle de temps associé. La marque de progression de l'appel peut être inactive (aucun appel dans ce créneau horaire), en provenance (une ligne vient de décrocher et a été connectée à un créneau horaire disponible), en numérotation, en sonnerie, en conversation, etc. Au fur et à mesure que l'appel est avancé par l'action du programme de traitement des appels, la marque de progression de l'appel est mise à jour en conséquence.

La mémoire de données et de chiffres contient un changement d'état de supervision ou des informations de signalisation transmises sur des circuits de données et de chiffres à partir de chacune des unités de commutation et collectées par la logique d'entrée-sortie. La logique d'entrée-sortie balaie périodiquement toutes les lignes de données et de chiffres pour collecter les informations de signalisation et de supervision en temps réel. La mémoire d'état d'appel et la mémoire de données et de chiffres sont des mémoires de feuille de ferrite.

Le programme de traitement d'appel traite successivement chaque unité de commutation. Il collecte d'abord toutes les nouvelles entrées pour cette unité de commutation à partir du magasin de données et de chiffres et prépare ces informations pour une action ultérieure.

Il procède ensuite au balayage de chaque marque de progression successivement pour déterminer si de nouvelles entrées permettront d'avancer un appel. Si un appel peut être avancé, le programme passe à une routine de progression d'appel associée à cet état de l'appel. À la fin des actions de progression d'appel appropriées, le balayage des marques de progression d'appel suivantes associées à la même unité de commutation est repris.

La Fig. 9-41 montre une unité de contrôle qui indique qu'elle peut être fournie dans des travées de 7 ou 11 pieds selon la hauteur du plafond et les besoins d'espace au sol. Pour atteindre sa capacité de 3200 lignes, seuls les équipements de données numériques et de jonction doivent être ajoutés.

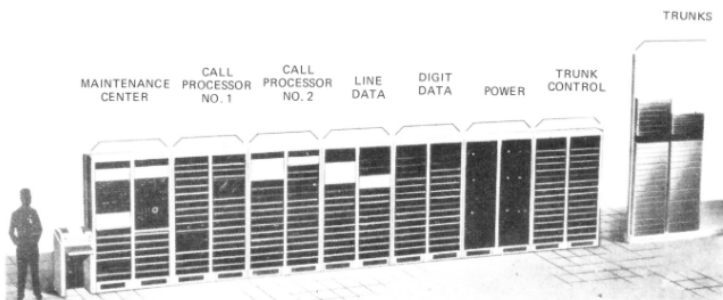


Figure 9-41. Disposition de l'unité de contrôle n° 101 ESS, 1000 lignes. Pour une croissance jusqu'à 3200 lignes, seules les données numériques et les unités de jonction sont ajoutées. (IEEE Transactions on Communications and Electronics, Vol. 83, juillet 1964.)

5.2.2 Unités de commutation supplémentaires

Plus de 90 % des installations PBX comptaient 200 lignes ou moins, de sorte que l'unité de commutation à 200 lignes (1A) gérerait un large segment du marché. Il y avait également un besoin reconnu d'unités de commutation plus grandes pour répondre aux besoins plus importants des clients PBX, et trois unités supplémentaires ont été conçues et fabriquées pour fournir des capacités de 340, 820 et 4000 lignes (voir Fig. 9-42). Le plus grand, l'unité de commutation 4A, combine des commutateurs ferrés à répartition spatiale et des bus à répartition temporelle PAM pour fournir la capacité de terminal et de trafic nécessaire. Figure 9-41. Disposition de l'unité de contrôle n° 101 ESS, 1000 lignes. Pour une croissance jusqu'à 3200 lignes, seules les données numériques et les unités de jonction sont ajoutées. (IEEE Transactions on Communications and Electronics, Vol. 83, juillet 1964.)

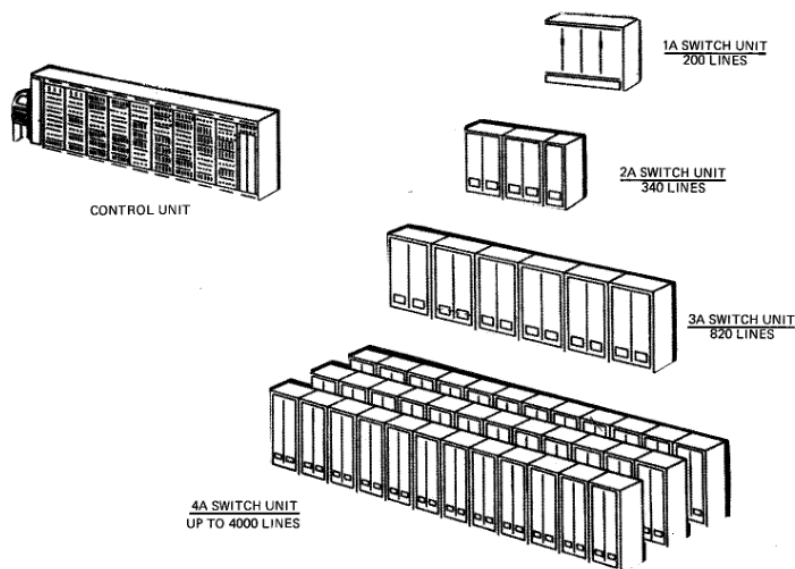


Figure 9-42. Options disponibles avec l'ESS n° 101, à commencer par une unité de commutation de 200 lignes.

Les unités de commutation ESS n° 101 offraient le service Centrex-CU (pour Customer Unit). Centrex-CU fournissait à son client la numérotation entrante directe vers des extensions individuelles dans le PBX et identifiait automatiquement les appels composés vers l'extérieur pour fournir les détails de facturation au client du PBX. Les appels entre les extensions ont été commutés avec l'équipement dans les locaux du client, réduisant ainsi le nombre de lignes réseau nécessaires entre le client et le bureau central. Dans cette application, l'ESS n° 101 a remplacé le PBX 701A et économisé de l'espace au sol dans les locaux du client. La première unité de commutation 4A a été mise en service en février 1967, sur le site nouvellement achevé d'Indian Hill Bell Laboratories à Naperville, Illinois. L'unité de commande de cet interrupteur était située dans la ville voisine de Wheaton. Ce système offrait la commodité des fonctions PBX modernes, telles que le renvoi d'appel vers un autre poste, la conférence à trois où l'un des trois correspondants pouvait être sur une ligne extérieure et une fonction de prise de groupe pour permettre les appels vers les postes d'un poste donné. bureau à récupérer par d'autres extensions dans le même bureau.

En 1969, l'ESS n° 101 a été aménagé pour assurer le fonctionnement du satellite principal. Dans cet arrangement, plusieurs unités de commutation pour un seul client seraient situées dans des bâtiments séparés, mais tous les appels nécessitant un opérateur seraient acheminés vers un groupe commun d'opérateurs à un emplacement - le site du commutateur "principal".

À son apogée, l'ESS n° 101 a desservi 300 000 extensions de plus de 200 unités de contrôle.

5.3 Développement initial du SSE n° 1

En 1958, plusieurs mesures ont été prises pour lancer le développement de l'ESS n° 1. Le développement menant à la fabrication a été autorisé en mars de cette année-là, et le travail de conception de la production a commencé au laboratoire de Whippany, New Jersey. Un nouveau centre d'ingénierie des systèmes a été créé à West Street, à New York, avec W. Keister comme directeur. Ce centre était chargé de définir les exigences pour l'ESS n° 1 et les exigences pour le système d'essai sur le terrain à Morris, Illinois. Le laboratoire de développement ESS de Whippany comptait alors plus de 200 personnes réparties dans cinq départements. Il était dirigé par C. A. Lovell en tant que directeur et R. W.

Ketchledge en tant qu'assistant réalisateur. Les ingénieurs et les scientifiques de ces départements ont été progressivement déplacés sur une période de temps du travail sur Morris à la conception de la production. Au moment de l'autorisation de travaux, le premier appel venait de se terminer avec succès dans le modèle de laboratoire pré-Morris, et l'essai réel sur le terrain ne commencerait pas avant plus de deux ans.

Cependant, la conception de la production au cours de cette période a abouti à l'invention du ferreed (initialement destiné à être utilisé dans la partie concentrateur de ligne du réseau), à l'invention des portes logiques à diode-transistor au silicium "logique de bas niveau" ou "LLL" par WB Cagle et W. H. Chen, et l'invention de l'architecture de base du contrôle central par JA. Harr. Des décisions ont également été prises pour abandonner le magasin à grille barrière et le magasin à "points volants" au profit de la mémoire à noyau magnétique (sous la forme du réseau de feuilles de ferrite fabriquées par lots) et du tourneur à aimant permanent. Ces jalons ont tous été atteints à la fin de 1959. À cette époque, la conception papier de la commande centrale comprenait le «module d'appel autonome», un processeur subsidiaire qui était le précurseur du «processeur de signal».

Le traitement subsidiaire serait fourni dans les bureaux nécessitant une capacité de transport d'appels supérieure à celle pouvant être obtenue sans processeur de signal. En janvier 1960, l'organisation de développement était passée à 240 et était divisée en deux laboratoires. C. A. Lovell dirigeait le laboratoire des systèmes et des logiciels, et R. W. Ketchledge avait été nommé directeur d'un laboratoire responsable de la conception de tous les circuits et équipements pour la production. En 1960, les travaux se sont poursuivis pour affiner la conception matérielle et déterminer les exigences logicielles.

Une version améliorée du ferreed a été développée en utilisant un manchon métallique de Remendur pour remplacer les tiges plus fragiles de matériau de ferrite. De plus, le processus épitaxial des Bell Labs pour la fabrication des transistors a permis l'utilisation de transistors au silicium pour obtenir des tensions de claquage plus élevées, réduire la tension de saturation collecteur-émetteur et obtenir une meilleure fiabilité de fonctionnement. En 1960 et 1961, des modèles de laboratoire de scanners à ferrod, de mémoires à feuille de ferrite et de torsion, d'unités logiques de contrôle central et d'unités de contrôle de réseau ont été assemblés et exploités. Du côté du système et du logiciel, la planification et le développement du programme étaient en cours. L'architecture du système était basée sur la taille et la capacité prévues des sous-systèmes. La structure de l'ordre des programmes a été évaluée en codant des séquences téléphoniques typiques et des travaux ont été lancés sur des programmes de support à la fois pour générer et pour déboguer les instructions ESS réelles. La planification d'un laboratoire système a commencé.

La flexibilité du contrôle par programme enregistré a également été étendue aux circuits interurbains conçus pour l'ESS n° 1. L'équipement physique d'un circuit interurbain est dans la plupart des cas limité à celui nécessaire pour détecter et générer les signaux requis sur ces circuits et pour effectuer des opérations de commutation de base telles que la fermeture ou l'inversion de boucle. Tout le séquençement de ces opérations, y compris la synchronisation de la durée des signaux, est effectué par une commande centrale selon les instructions du programme. Cela a pour effet de minimiser la variété des circuits interurbains requis et de réduire leur coût, puisque des changements de synchronisation ou de séquence de fonctionnement peuvent être apportés par des changements dans le programme.

Au cours de 1961, les équipes de développement ont été réaffectées à une division distincte dédiée à la commutation électronique. Il était dirigé par W. H. C. Higgins en tant que directeur exécutif et comprenait plus de personnes travaillant sur l'ESS n° 1, ainsi que le centre de W. A. Depp à Murray Hill, New Jersey, qui développait l'ESS n° 101, et J. A.

Le centre de Baird à Whippany, New Jersey, qui était responsable des applications militaires. Ce dernier groupe avait commencé le développement, en 1959, d'un système intégré (voix et données, analogique et numérique) pour le Signal Corps. Ce système, qui sera décrit plus tard, a adopté une grande partie du matériel et des logiciels ESS n° 1.

Pendant le reste de 1961 et 1962, les conceptions du matériel ont été achevées et confiées à Western Electric pour la fabrication. À l'été 1962, la «division de commutation électronique a été transférée dans un nouveau laboratoire à Holmdel, New Jersey, et peu de temps après, des modèles de laboratoire de systèmes ont été assemblés pour les trois projets majeurs. Le centre d'ingénierie de commutation de W. Keister avait d'abord déménagé à Whippany pour travailler plus étroitement avec les ingénieurs de développement.

Ce centre a également accompagné l'organisation de développement à Holmdel en 1962. Keister est resté en charge de l'ingénierie de commutation ESS jusqu'après le basculement du premier ESS n° 1 à Suc casunna, New Jersey en 1965.

La figure 9-43 montre les premières étapes du premier laboratoire de systèmes du SST n° 1. Bien que les unités aient été testées en usine, l'équipement a été soumis à des tests approfondis avec des programmes "rayons X" dans le laboratoire des systèmes. Ces programmes de test ont été exécutés par le contrôle central pour se tester et tester les unités fonctionnelles restantes du système.

(Ces programmes de rayons X sont devenus l'élément majeur des tests d'installation, ce qui a minimisé le besoin de tester le matériel sur le terrain.) En août 1963, le débogage du système était en cours et l'effort a été porté à deux équipes en novembre. année.

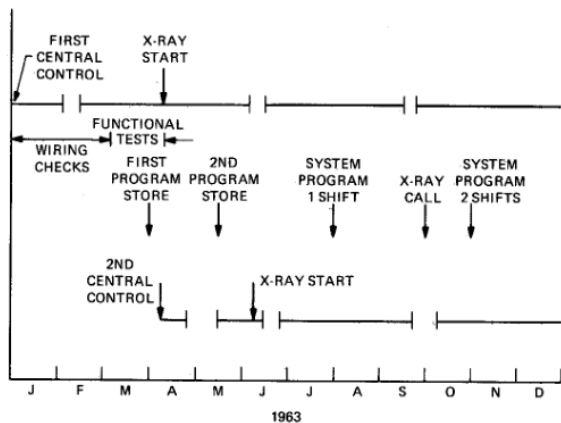


Figure 9-43. 1963 état des tests de laboratoire des systèmes ESS n° 1

Avec des programmes "X-ray" spécialement écrits, le premier appel a été passé au laboratoire Holmdel le 30 septembre 1963. Bien que celui-ci n'ait pas utilisé le programme système, il a démontré le fonctionnement de toutes les unités fonctionnelles (réseaux, scanners, distributeurs, sonnerie circuits et liaisons) nécessaires pour passer un tel appel et pour confirmer que le laboratoire système est prêt à fonctionner comme un outil de débogage pour les programmes système. 51 En plus de l'équipement du système, il y avait du matériel et des logiciels de soutien conçus et construits pour le laboratoire Holmdel.

Une console de test de programme illustrée à la Fig. 9-44 affichait les registres internes des deux commandes centrales et divers autres registres et bascules dans d'autres unités ESS.



Figure 9-44. R. S. Cooper utilisant la console de test de programme ESS n°1, qui affichait l'exécution du programme ESS et aidait au débogage.

Avec ce matériel, le programme pourrait être arrêté à des points sélectionnés de son exécution, et l'état du système pourrait être lu à partir de l'affichage. Un programme utilitaire utilisait des lecteurs de cartes perforées à grande vitesse et des imprimantes en ligne. Les conditions de test ont été insérées et les résultats ont été imprimés. Le programmeur pourrait lire l'affichage de la console pour aider à déterminer la nature d'un problème insaisissable et utiliser un lecteur de carte de programme utilitaire et une imprimante pour obtenir rapidement les résultats des tests du laboratoire de test. Ensuite, le programmeur pourrait analyser l'impression et apporter des modifications au programme sans monopoliser davantage la précieuse installation de test.

Les changements de programme pourraient être effectués avec des cartes perforées, et la correction pourrait être saisie et testée dans le laboratoire des systèmes. De cette façon, de nombreux programmeurs pourraient "partager" leurs efforts de débogage dans le laboratoire système Holmdel.

La première installation commerciale de l'ESS n° 1 était un bureau de 4 000 lignes à Succasunna, New Jersey. L'équipement de Succasunna a été installé à l'été et à l'automne 1963, et les tests du programme système ont commencé à cet endroit en janvier 1964.

De plus, des tests ont été effectués à l'aide de boîtes de chargement spécialement conçues, et des équipes d'opérateurs de test ont passé des appels spéciaux pour assurer le trafic excédent de la demande aux heures chargées à Succasunna. Les opérateurs ont également essayé autant de combinaisons de séquences d'appels inhabituelles qu'il était raisonnablement possible d'insister sur la conception du programme. Le 27 mai 1965, une cérémonie d'inauguration a eu lieu, et le 30 mai, Succasunna a commencé à fournir un service commercial à 4 000 clients.

Le deuxième ESS n° 1, mis en service en janvier 1966, à Chase, Maryland, était très similaire en taille et en exigences de programme au premier. Malgré des tests approfondis, des problèmes de programme ont causé un certain nombre de brèves interruptions de service à Succasunna au cours des trois premiers mois d'exploitation. Ces problèmes ont été identifiés et les programmes ont été corrigés avant que le bureau de Chase ne soit mis en service. Les débuts de la commutation électronique Le résultat a été que le bureau de Chase n'a pas connu ces interruptions et, peu après son basculement, a été laissé sans surveillance la plupart du temps.

Une application plus générale de l'ESS a nécessité des ajouts au programme utilisé pour Succasunna et Chase. Ce programme, le premier d'une série de programmes "génériques", appelés CC1 pour central control-1, a été appliqué pour la première fois au bureau de Beverly Hills, en Californie, qui a suivi l'installation de Chase en service en janvier 1967. Il a représenté le premier programme métropolitain - taille du bureau du SST et traitement d'une plus grande variété d'appels.

A cet effet, 33 000 mots ont été ajoutés au programme Succasunna. Seize bureaux avec le programme générique CC1 sont entrés en service en 1967.

La flexibilité de l'ESS n°1 dans l'intégration de nouvelles fonctionnalités a été amplement démontrée. Lorsque le premier ESS n° 1 a été mis en service en 1965, il offrait 187 fonctionnalités, notamment (1) la comptabilité automatique locale des messages (LAMA), (2) des services d'appel personnalisés, (3) des arrangements pour de nombreuses liaisons de service d'opérateur et inter-bureau signalisation, et (4) divers types de fonctionnalités de pièces de monnaie, y compris la capacité de facturation des heures supplémentaires locales. Le premier programme comportait 11 fonctionnalités qui n'étaient alors pas disponibles pour le crossbr n° 5.

En 1976, le nombre de d' ESS n° 1 était passé à plus de 500.

Pour fournir à la fois aux installateurs de Western Electric et à l'expertise de la compagnie de téléphone en exploitation l'exploitation et la maintenance du nouveau système, une école spéciale a été créée et gérée par Bell Laboratories. Des ingénieurs de Bell Labs, de Western Electric et des sociétés d'exploitation ont servi d'instructeurs pour fournir du matériel pour un cours approfondi de 34 semaines qui a été organisé deux fois de suite à partir de janvier 1964. Cent trente et un stagiaires de diverses sociétés d'exploitation, Western Electric, et le département Long Lines d'AT&T ont suivi le cours, qui comprenait une expérience d'exploitation "pratique". Les personnes formées dans cette école spéciale sont revenues gérer et entretenir leurs premières installations et créer des écoles de formation au sein de leurs propres sociétés d'exploitation.

Le directeur de l'école était M. Raspanti, qui a également conçu deux unités de démonstration en classe pour représenter le contrôle par programme enregistré d'abord du système Morris, puis de l'ESS n° 1. Cette dernière unité a été largement utilisée pour initier le personnel d'exploitation des sociétés d'exploitation aux nouvelles techniques de commande du système de commutation.

Les élèves pourraient écrire des programmes spéciaux pour le démonstrateur de Raspanti, puis les déboguer et les exécuter en classe. On pourrait faire en sorte que le démonstrateur parcoure sa séquence programmée assez lentement pour permettre à la classe de suivre visuellement chaque étape. Le personnel d'installation de Westerr Electric a également dû acquérir une connaissance pratique du logiciel ESS n° 1 puisque les tests des installations ESS n° 1 ont été effectués en grande partie avec des programmes chargés dans la mémoire du twistor. Tout d'abord, les programmes X-Ray ont été chargés et exécutés pour aider au débogage de base de l'équipement et aux bus et câbles d'interconnexion. Lorsque tous les programmes X-Ray ont pu s'exécuter sans qu'aucune erreur ne soit détectée, le programme générique a été chargé et exécuté. Les programmes opérationnels ont tenté de faire fonctionner le système comme un centre de commutation, et les programmes de maintenance ont également été exercés pour trouver et corriger davantage d'erreurs de fabrication et d'installation.

Parmi les derniers tests effectués figuraient des tests spéciaux de pré-coupeure des lignes auxquelles l'ESS n° 1 serait dirigé pendant les périodes de faible trafic, reliant chaque ligne, l'une après l'autre, au réseau et aux circuits d'essai. ESS testerait et mesurerait ensuite chaque ligne pour vérifier qu'elle était correctement connectée au nouveau système. Tous les défauts détectés seraient notés sur le téléimprimeur pour les actions correctives. À la fin de chaque bref test, la ligne serait renvoyée à l'ancien central en la déconnectant automatiquement de l'ESS n° 1. Avec ces nouveaux outils puissants, une "coupeure éclair" de plusieurs dizaines de milliers de lignes pourrait être réalisée avec l'assurance de pratiquement aucune erreur de câblage et de déranger les clients du téléphone.

5.4 UNICOM

L'avènement du SSE à commande par programme enregistré intéressait les planificateurs de systèmes de commutation militaires. Le Signal Corps a commencé à étudier des améliorations à ses communications stratégiques dans le but de desservir à la fois les trois départements militaires et d'autres trafics gouvernementaux vitaux pour l'intérêt national. Une étude de système a été faite pour définir un système universel de communications intégrées - UNICOM. L'étude du système comprenait de nouvelles installations de transmission, une nouvelle famille d'équipements de station et l'interconnexion de divers modes de télécommunications dans un seul système de commutation intégré. En 1958, la faisabilité d'un tel système avait été établie et, en juin 1959, le Signal Corps et le Bell System en tant que maître d'œuvre ont conclu un accord de développement. Bell Laboratories était l'entrepreneur du système avec ITT et RCA comme principaux sous-traitants pour certaines parties du système. Le système comprenait un réseau à répartition dans le temps, qui fonctionnait soit avec des connexions de circuit pour la voix sécurisée, soit avec des données commutées sur une base de stockage et retransmission. Le système comprenait également un réseau à répartition spatiale et une commande à programme enregistré pour faire fonctionner à la fois les réseaux à répartition temporelle et spatiale en tant que central de commutation intégré. Le réseau de division spatiale était une version à 4 fils du réseau ferré développé pour l'ESS n° 1, et la commande commune était une adaptation directe de la commande centrale de l'ESS n° 1, du magasin de programmes twistor et des magasins d'appels de feuilles de ferrite. Le réseau à division temporelle 1 a également été conçu par Bell Labs en utilisant les circuits logiques de bas niveau conçus pour l'ESS n° 1.

La Fig. 9-45 montre le schéma fonctionnel du central téléphonique.

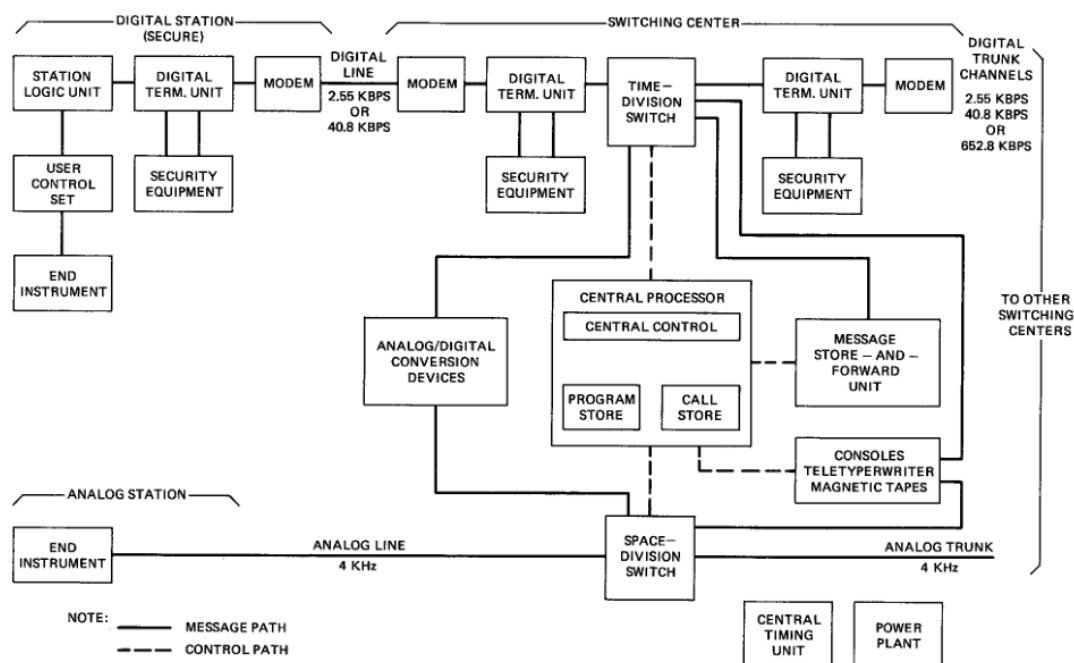


Figure 9-45. Schéma fonctionnel du système à 4 fils UNiversal Integrated COMmunications (UNICOM) pour le Signal Corps.

UNICOM utilise à la fois la commutation par répartition dans le temps et dans l'espace. L'instrument final peut être soit un téléphone pour la voix, soit un télécopieur pour les graphiques, soit un téléimprimeur ou un autre terminal pour les données.

Le contrat prévoyait le développement et l'exploitation d'un modèle de test pour démontrer à la fois le fonctionnement de l'équipement et un grand nombre de caractéristiques opérationnelles obtenues à partir de programmes ESS spéciaux écrits pour cette application.

Plusieurs départements d'un laboratoire de développement de systèmes militaires dirigé par JA Baird ont été affectés au projet UNICOM. Les efforts de développement pour UNICOM ont commencé dans les laboratoires de Whippany, New Jersey, colocalisés avec le développement ESS en cours.

Les deux projets ont déménagé vers le nouvel emplacement à Holmdel, New Jersey en 1962, et là le modèle de test UNICOM a été construit et exploité. À cette époque, plus de 100 ingénieurs et programmeurs travaillaient sur le projet UNICOM.

La Fig. 9-46 montre une vue d'une partie du modèle de test UNICOM avec les consoles du centre de commutation et les ensembles de commande de poste analogiques et numériques.



Figure 9-46. Une partie des consoles centrales de commutation de modèle de test UNICOM et des ensembles de contrôle de station numériques et analogiques.

Le codage, le cryptage et le contrôle de la station numérique nécessitaient des circuits supplémentaires substantiels pour gérer toutes les formes de codage requises. Avec des composants discrets, deux baies d'équipement de sept pieds de haut étaient nécessaires pour desservir dix stations numériques. Le programme stocké était une adaptation du programme ESS n° 1 pour gérer les différents réseaux et fonctionnalités requis pour ce système. Le programme total a été estimé à 200 000 mots par rapport aux 110 000 mots fournis dans le programme Succasunna.

Les unités d'équipement étaient presque électriquement équivalentes à leurs homologues n° 1 ESS, mais une refonte physique substantielle était nécessaire pour répondre aux exigences environnementales militaires.

La figure 9-47 est une photographie d'une allée du modèle d'essai UNICOM à Holmdel



Les grilles au bas de plusieurs des cadres sont destinées à la climatisation forcée requise dans environ quinze pour cent de l'équipement

En octobre 1963, des appels ont été placés dans le système à l'aide de programmes de test simplifiés. En 1964, la portée du projet avait été réduite au modèle de test lui-même et le projet avait été renommé (Defense Automatic Integrated Switch-DAIS). 57 Bien que le modèle de test UNICOM était destiné à être unique en son genre, ses capacités ont été démontrées avec succès au Signal Corps, et une grande partie de l'effort de développement a porté ses fruits dans d'autres projets ESS.

5.5 AUTOVON

La Defense Communication Agency (DCA) a établi au début des années 1960 un réseau mondial de télécommunications à 4 fils.

Le nouveau réseau (qui a remplacé la proposition UNICOM) combinait le réseau NORAD/ADS (North American Air Defence Command/Automatic Dial Switching System) de l'Air Force et le réseau américain SCAN (Switched Circuit Automatic Network) de l'armée en un seul réseau désigné.

SCAN a été activé en 1961 et NORAD / ADS en 1963, tous deux utilisant des systèmes de barres transversales n° 5 à 4 fils spécialement conçus développés par Bell Labs à partir de 1959 (voir Chapitre 11 section 1.9).

AUTOVON devait être un réseau de commutation de bout en bout à 4 fils.

La Fig. 9-48 montre une version à 4 fils du commutateur ferré qui a été développé pour UNICOM et le projet AUTOVON (voir Fig. 9-47. Rangée d'équipements de commutation UNICOM qui utilisaient un refroidissement par air forcé, un exemple de conception spéciale pour répondre exigences militaires. ci-dessous).

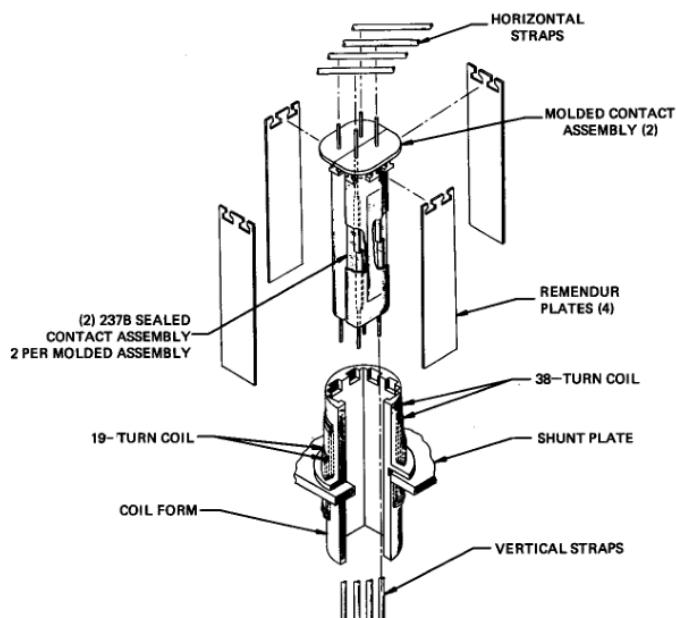


Figure 9-48. Commutateur ferré spécial à 4 fils conçu pour UNICOM et utilisé par la suite dans le système AUTOMATIC VOICE Network (AUTOVON)

La Defense Communication Agency avait pris connaissance du développement de l'ESS et souhaitait introduire le contrôle de programme stocké dès que possible dans AUTOVON.

La DAC s'attendait à ce que ses besoins changent et évoluent rapidement et a reconnu que le contrôle par programme enregistré lui fournirait un système doté de la flexibilité de conception nécessaire.

AUTOVON devait principalement servir le ministère de la Défense, mais il comprenait d'autres communications gouvernementales et commuterait la voix, la voix cryptée et les données.

La figure 9-49 montre l'un des postes de commandement de la défense aérienne devant être desservi par AUTOVON. Le réseau devait être "survivable" face à une attaque nucléaire. Les centres de commutation devaient être situés à l'écart des centres métropolitains et se trouvaient dans des sites «renforcés», généralement souterrains. De plus, les liaisons du réseau devaient être agencées de manière "polygrid" beaucoup plus redondante que le réseau de péage hiérarchique de Bell..

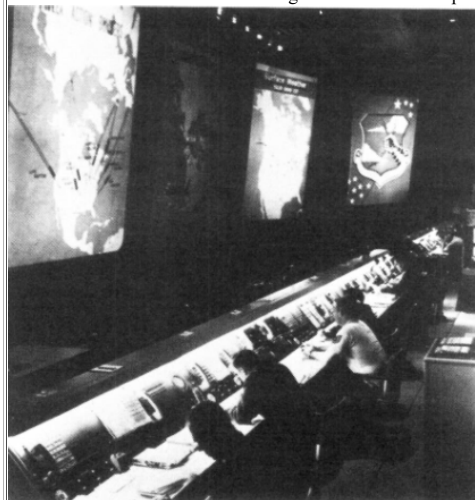


Figure 9-49. Poste de commandement de la défense aérienne desservi par AUTOVON.

Les ingénieurs travaillant sur le commutateur temporel ont ensuite pu appliquer leurs connaissances à la conception du commutateur temporel de l'ESS n° 4.

De nombreuses caractéristiques uniques du système UNICOM sont décrites au chapitre 12 du volume de cette série sous-titré National Service in War and Peace (1925-1975)

La figure 9-50 montre la grille des circuits interurbains AUTOVON à travers les États-Unis continentaux (voir réf. 59). Même avec la perte de nombreux liens et centres du réseau, les appels pourraient être connectés aux centres survivant à une attaque nucléaire.

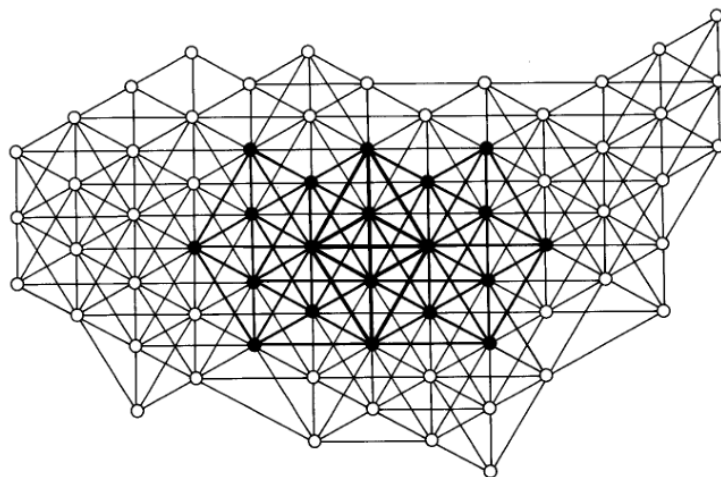


Figure 9-50 Concept de réseau polygrid pour AUTOVON, qui offre une plus grande redondance que les réseaux commerciaux et donc une plus grande capacité de survie face à une attaque nucléaire.

Le développement des systèmes de commutation électronique AUTOVON a commencé dans deux domaines chez Bell Laboratories. En septembre 1963, le développement est autorisé pour une version 4 fils de l'ESS n°1 pour AUTOVON.

Un autre effort de développement a été autorisé en juillet 1964 pour un ESS plus petit à utiliser dans AUTOVON. Ce dernier système était basé sur un nouveau processeur destiné à étendre la capacité de l'ESS n°101 au-delà de 3200 lignes. La nouvelle conception visait à fournir de petits systèmes de central téléphonique à 4 et 2 fils utilisant des unités de commutation similaires à celles déjà conçues pour les projets 4 et 2 fils du SSE n°1. Ce système a ensuite été nommé n°2 ESS.

Le développement n°1 ESS AUTOVON a été formé en 1963 sous la direction de H. N. Seckler en tant que chef de département et avec un groupe de soutien pour la conception des équipements. Cette équipe comprenait environ 50 ingénieurs et programmeurs. En janvier 1964, l'équipe de développement était passée à 100 personnes dans trois départements sous la direction de R. E. Staehler. Un laboratoire de systèmes a été créé à Holmdel, New Jersey et a déménagé à Indian Hill, Illinois en 1966. Au laboratoire d'Indian Hill, deux modèles de test étaient nécessaires pour répondre aux besoins de test continus des ingénieurs et des programmeurs.

En mai 1966, quatre systèmes ESS 4 fils n°1 sont simultanément mis en service, suivis d'une cinquième installation en juillet. Entre-temps, le projet à 4 fils du SSE n°2 a rencontré des problèmes techniques avec les mémoires de processeurs, qui auraient retardé la disponibilité du système jusqu'à la fin de 1968. Par conséquent, la partie à 4 fils du développement des petits bureaux Les débuts de la commutation électronique

En 1971, un total de 45 AUTOVON ESS à 4 fils n°1 étaient en service, dont trois au Canada. À ce moment-là, les besoins logiciels continus avaient été satisfaits avec le cinquième générique AUTOVON (AV-5). Des études avaient déjà été lancées pour déterminer les besoins de Bell System pour son propre réseau de péage, et l'effort de développement s'est déplacé vers ce projet.

VI. ÉLARGISSEMENT DES APPLICATIONS ESS N°1

À la fin de 1967, l'ESS N°1 avait été introduit avec succès dans dix-huit bureaux de onze sociétés d'exploitation de Bell et un à Montréal pour Bell du Canada. Le système de Montréal, en service en janvier 1967, était le premier des huit systèmes construits et installés par la Northern Electric Company pour Bell of Canada en vertu d'accords de licence et de fabrication avec la Western Electric Company.

Il restait beaucoup de travail à faire sur les applications et les capacités métropolitaines à 2 fils ; un bureau de banlieue était en cours de développement (n°2 ESS), et le n°101 ESS nécessitait également du matériel et des logiciels supplémentaires pour étendre sa gamme d'applications avec les unités de commutation plus grandes déjà décrites. À cette fin, un nouveau grand laboratoire - l'Indian Hill Laboratory a ouvert ses portes à Naperville, dans l'Illinois, à l'été 1966. Toute la division de commutation électronique de plus de 800 ingénieurs, techniciens et personnel de soutien a été transférée, à partir de juillet 1966, de Holmdel et Columbus, Ohio à Indian Hill, avec R. W. Ketchledge comme directeur exécutif.

Le nouveau bâtiment comprenait une section consacrée aux modèles de test en laboratoire des différents systèmes. Jusqu'à ce qu'ils soient pleinement opérationnels, le modèle de test ESS n°1 a été conservé à Holmdel, et une équipe d'une quinzaine d'ingénieurs et de programmeurs a continué à travailler dans ce laboratoire jusqu'à sa fermeture en juillet 1968.

Lors de la mise en place des laboratoires à Indian Hill, des installations supplémentaires ont été fournies pour répondre à la demande accrue de tests de systèmes. À la mi-1968, les modèles de test suivants étaient en service : deux systèmes ESS n°1 à 2 fils, deux systèmes ESS n°1 à 4 fils, l'ESS n°2, l'ESS n°101 et l'ESS n°1 Fonctionnalités de données (ADF). (No. 1 ESS ADF est décrit dans la section 6.3.)

Tous ces laboratoires étaient exploités par des groupes dont les responsabilités étaient (1) de planifier la conception et le fonctionnement des modèles d'essai et de l'équipement d'essai de soutien, (2) de diriger l'installation et mise en service de chacun de ces systèmes de bureau central, (3) pour maintenir le bon fonctionnement et la bonne disponibilité des installations de laboratoire, et (4) pour planifier, concevoir, construire et exploiter de nouveaux accessoires de test pour augmenter l'efficacité et l'efficacité des tests. Ce type d'effort important nécessite des personnes dévouées et généralement une connaissance large et approfondie de l'ensemble du système. Bien entendu, les modèles de test de systèmes ont été complétés par de nombreux laboratoires plus petits consacrés à la conception de circuits, de châssis et de physique. De plus, un grand centre informatique a été établi pour fournir le soutien nécessaire aux logiciels génériques et aux programmes de soutien technique requis par les divers systèmes. Cette période a vu un accent accru sur l'utilisation des ordinateurs de support pour améliorer la productivité des concepteurs et des testeurs de logiciels et de matériel. Il a été reconnu que l'élaboration d'une méthodologie administrative était primordiale pour pouvoir répondre aux besoins des compagnies de téléphone en exploitation.

Des aides informatiques à divers aspects de la conception du SSE ont été développées.

Certains d'entre eux étaient basés sur l'expérience des années 1950 avec le système Morris. D'autres ont été adoptés à partir d'autres sources et affinés pour être utilisés dans le développement du SSE. Ceux-ci comprenaient (1) la simulation de programmes opérationnels, (2) la simulation de conceptions logiques, (3) des programmes d'analyse de circuits, (4) des synthétiseurs et analyseurs de test de diagnostic, (5) des synthétiseurs de configuration de circuits imprimés, (6) des programmes d'analyse thermique pour l'équipement conception, (7) compilateurs et assembleurs, (8) programmes d'ingénierie de bureau et (9) logiciels interactifs à temps partagé pour travailler avec certains des programmes énumérés ci-dessus. 61 De plus, l'intégration d'ordinateurs dans les modèles de test pour rationaliser les tests et obtenir des résultats de test a été fournie dans tous les laboratoires de modèles de test. Ces installations informatiques de petite et moyenne taille comprenaient des terminaux à clavier interactif, des transporteurs de bandes magnétiques, des mémoires sur disque et des imprimantes en ligne à grande vitesse, ainsi que des lecteurs de cartes perforées pour faciliter l'ensemble de la procédure de test. La figure 9-51 montre un système de support de modèle de test de laboratoire typique.

L'un des tests importants consiste à tester la charge pour déterminer la capacité de transport d'appels de chaque système ESS. Des tests de charge ont été effectués sur chacun des systèmes avec des « boîtes de chargement », qui fournissaient des départs d'appel, la numérotation (ou la saisie d'appels TOUCH-TONE téléphone, *marque commerciale d'AT&T Co.*), la réponse sur les lignes de terminaison et la raccrochage de l'appel. et lignes appelées, et répétition du processus. Ces boîtes de charge pourraient générer dix numéros différents pour 50 lignes d'origine.

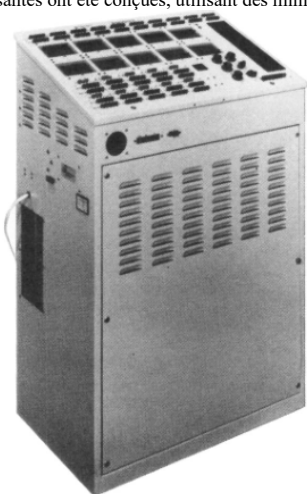


Figure 9-51. Installation informatique utilisée à l'appui du modèle d'essai du laboratoire n° 1 ESS.

Une installation réelle a été testée avec des boîtes de chargement avant sa mise en service lorsque de nouveaux programmes ou des améliorations matérielles de la capacité du processeur ont été introduits. La capacité limitée du réseau et/ou des terminaux des modèles de test, en particulier des systèmes plus grands, a empêché un test à pleine charge en laboratoire.

Au fur et à mesure que la capacité de l'ESS n° 1 a été augmentée, dix boîtes de chargement ou plus ont été nécessaires pour tester pleinement la capacité de transport d'appels des systèmes.

Des aides matérielles et logicielles ESS supplémentaires ont été utilisées pour doubler la charge offerte par les boîtes de chargement. Des techniques de boîte de charge plus puissantes ont été conçues, utilisant des mini-ordinateurs pour augmenter la capacité de charge offerte.



La Fig. 9-52 montre une boîte de chargement capable de fournir jusqu'à 6 000 appels par heure.

Un simulateur d'appel électronique programmable (PECS), comprenant un ordinateur commercial, a été conçu et construit pour générer automatiquement le trafic téléphonique sur les terminaux de ligne et de jonction dans le laboratoire. Il pourrait générer, et répéter si nécessaire, un appel inhabituel Fig. 9-52. Boîte de chargement utilisée pour tester les systèmes de développement et installés du SSE n° 1. L'unité a passé jusqu'à 6000 appels téléphoniques simulés par heure (Proceedings, Fall Joint Computer Conference, IEEE Vol. 41, 1972.) modèles de séquence pour tester toute fonction de traitement d'appel. Dans un autre cas, des appels de test ont été générés dans un modèle de test pour fournir une charge offerte à un deuxième modèle de test. Lors du développement de l'ESS n°4, un ordinateur a été programmé pour simuler les réseaux, les terminaux et le trafic offert.

6.1 Processeur de signal et amélioration de la capacité

Alors que le basculement des premiers bureaux en 1965 et 1966 était l'aboutissement d'un très gros effort, d'autres travaux étaient nécessaires pour amener l'ESS n° 1 à pleine maturité. L'une des tâches consistait à fournir la capacité de transport d'appels nécessaire dans les très grandes installations métropolitaines.

La capacité de transport d'appels d'un système de contrôle à programme enregistré est généralement limitée par la complexité du programme, la puissance du répertoire d'instructions pour exécuter les étapes du programme et la vitesse avec laquelle le contrôle commun peut exécuter le flux d'instructions pour accomplir ses tâches. Pour augmenter la capacité de transport d'appels dans les grands bureaux, l'ESS n° 1 devait y ajouter une ou plusieurs paires de processeurs de signal pour soulager le contrôle central des tâches de programme plus routinières telles que la numérisation de lignes et la mise en place et le démontage de connexions dans le réseau ferré. Il a ensuite été décidé de ne fournir qu'une seule paire de processeurs de signal dans les grands bureaux, conformément aux autres limitations imposées par la taille maximale du réseau de commutation. Dans cette configuration, l'ESS n°1 a été estimé atteindre une capacité de pointe de 100 000 appels par heure.

La capacité du système avec uniquement le contrôle central a été estimée entre 42 000 et 53 000 appels par heure, selon la combinaison de types d'appels traités. Ces estimations ont été obtenues en 1962 en utilisant les premières prédictions du nombre de cycles de fonctionnement (à 5,5 microsecondes par instruction de commande centrale) nécessaires pour exécuter des programmes de traitement d'appels. Les estimations, qui représentaient les objectifs de conception, ont été révisées à la fin de 1964 lorsque le programme de Succasunna était beaucoup plus proche de son achèvement. La capacité a ensuite été calculée à 80 000 appels par heure avec un processeur de signal et 37 000 pour un bureau de contrôle central.

Le processeur de signal, ainsi que les changements de programme et les ajouts pour permettre au contrôle central de partager la charge de travail en coopération, ont d'abord été planifiés pour un bureau de New York dans l'année suivant la fermeture du bureau de Succasunna, New Jersey. L'ESS devait remplacer le premier système Panel de code de bureau à trois chiffres desservant le bureau Pennsylvanie-6 - le même bureau servant le numéro de téléphone rendu célèbre par la chanson à succès du chef d'orchestre Glen Miller.

Les premières installations de l'ESS n° 1 se trouvaient dans des environnements limités qui ne géraient pas une grande variété de signalisations interurbaines. Le bureau de Beverly Hills dans la section Century City de Los Angeles comprenait la connexion aux bureaux adjacents étape par étape, ce qui nécessitait plus de travail du processeur central pour détecter le lancement d'appels entrants de commutation électronique (l'équivalent de contrôle de programme stocké de par opération de liaison décrite au chapitre 6). En raison de cela et d'autres exigences de fonctionnalités, le premier programme générique est entré en service à Beverly Hills en janvier 1967. Il était connu sous le nom de CC-1 (contrôle central-1) et nécessitait plus de 140 000 mots de programme, bien plus que les 111 000 utilisés dans les installations de Succasunna et Chase, Maryland. Le concept de programme générique a été adopté pour desservir de nombreuses installations plutôt que d'adapter le programme à chaque installation. Cela a grandement simplifié les tâches d'écriture et de test des programmes plutôt complexes pour fournir la grande variété de fonctionnalités demandées par l'ESS n° 1. L'ESS de Beverly Hills était deux à trois fois plus grand que ses prédécesseurs, desservant environ 11 600 lignes de clients, et a été sélectionné pour obtenir des mesures de la capacité de transport d'appels du contrôle central avec les programmes CC1. Une équipe des laboratoires Bell et de Western Electric était stationnée à Beverly Hills pour effectuer le débogage des fonctionnalités sur site et tester la capacité de transport des appels. À l'automne 1966, un certain nombre de boîtiers de chargement d'appels de test ont été connectés à l'ESS, et la capacité a été déterminée à 27 000 appels par heure, ce qui est suffisant pour Beverly Hills au moment du basculement, mais inférieur aux attentes antérieures.

Le programme Succasunna a été conçu et écrit pour conserver la quantité de mémoire de programme et de mémoire temporaire requise, et cet objectif a été atteint au détriment de la nécessité de plus de cycles d'exécution de programme pour traiter les appels que précédemment estimé, et le premier programme générique a hérité de cette caractéristique. Il a également été reconnu qu'une réduction correspondante de la capacité se répercuterait sur les installations utilisant le processeur de signal. Les développeurs d'ESS ont commencé à étudier les moyens d'augmenter la capacité de transport des appels.

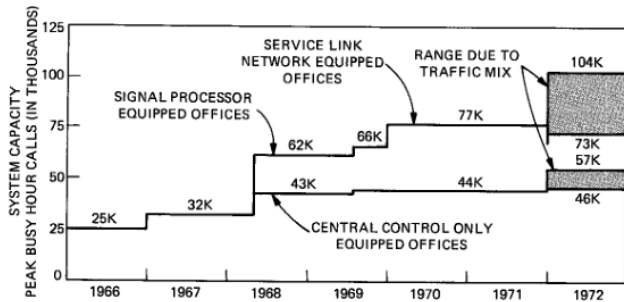


Figure 9-53. Croissance régulière de la capacité de transport d'appels du SSE n° 1, 1966-1972.

La figure 9-53 montre l'historique des améliorations de la capacité d'appel, y compris les "solutions rapides" au programme générique CC-1 fourni au début de 1967. Les améliorations du bureau de contrôle central étaient principalement logicielles et, comme on peut le voir, ont atteint les premiers objectifs en 1973. Les données du processeur de signal montrent la capacité accrue obtenue en 1968, lors de la mise en service de l'installation Pennsylvania-6. Son programme générique, le SP-1 ou processeur de signal-1, était nettement plus volumineux que le CC-1. Le processeur de signal ESS n° 1 a doublé la capacité de transport d'appels à environ 70 000 appels par heure, et les améliorations logicielles appliquées à la configuration de contrôle central ont également amélioré les bureaux du processeur de signal. La figure 9-54 est un schéma fonctionnel simplifié de l'ESS n° 1 montrant les interconnexions du processeur de signal. Toutes les opérations de balayage de ligne et de tronçon de routine ont été transférées au processeur de signal.

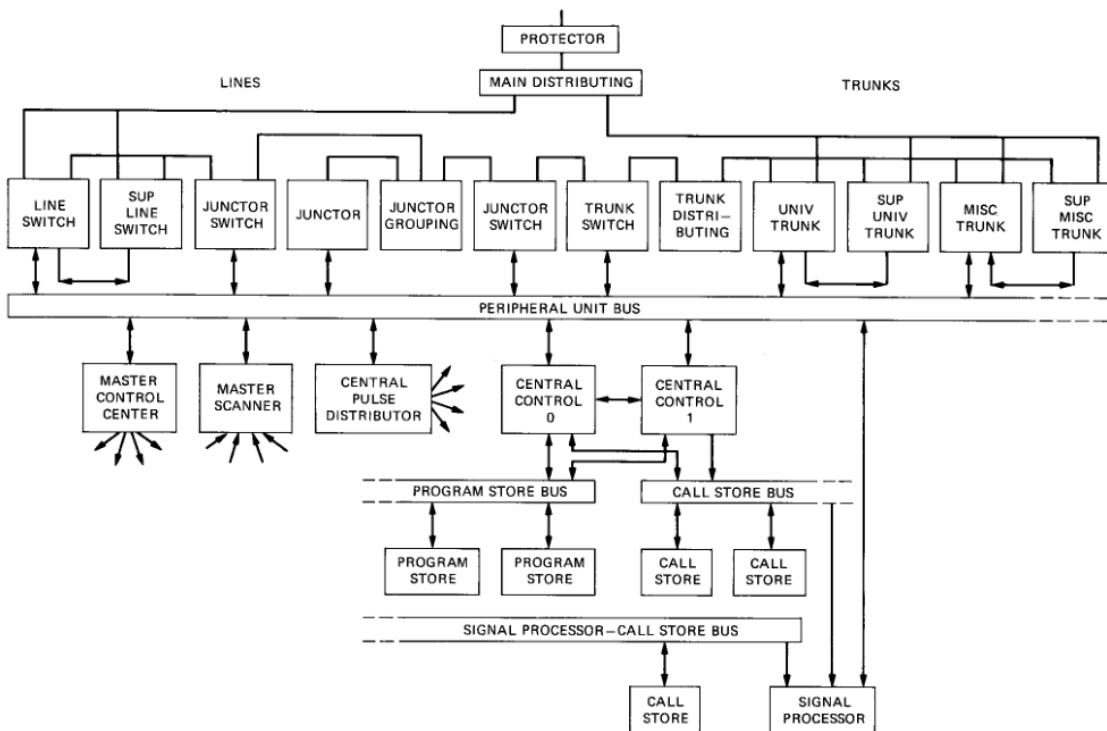


Figure 9-54. Schéma fonctionnel de l'ESS n° 1 montrant les interconnexions du processeur de signal pour doubler la capacité de transport d'appels du système (janvier 1963).

Les résultats de ses opérations étaient stockés dans sa propre mémoire temporaire, et la commande centrale accédait à ces emplacements de mémoire (magasins d'appels du processeur de signal) pour récupérer ces résultats afin d'effectuer son traitement d'appel. La commande centrale a renvoyé les informations de sortie au processeur de signal, de sorte que ce dernier exécute des commandes pour établir des connexions réseau, faire fonctionner les circuits de service nécessaires et effectuer des opérations de supervision et de signalisation de jonction. Il était prévu que de nombreuses installations puissent commencer le service avec la commande centrale uniquement et que le processeur de signal soit ajouté chaque fois que les lignes des clients du bureau et les besoins d'appels dépassaient la capacité initiale. La croissance vers de plus grandes tailles (au lieu de démarrer un deuxième SSE à ce moment-là) a permis d'améliorer l'efficacité de la commutation et des liaisons et de réduire considérablement les dépenses des compagnies de téléphone. Cette procédure de croissance complexe du matériel et des logiciels a été réalisée lors d'essais sur le terrain dans des bureaux en service à Philadelphie, Détroit et Denver. Il est ensuite devenu disponible en tant que procédure d'installation standard en 1971.

Une amélioration matérielle supplémentaire a été appliquée aux bureaux du processeur de signal afin de réduire la reconfiguration du réseau nécessaire lors des étapes successives d'établissement des appels. Le réseau de liaison de service, ou SLN, a rationalisé les opérations de traitement des appels et du signal à un coût supplémentaire pour le réseau de commutation ESS n°1. 67 L'ajout de la SLN a initialement augmenté la capacité des plus grands bureaux de 15 %.

Un exemple de simplification du SLN dans l'établissement de la connexion requise pour la sonnerie, suivie de la transition vers une connexion de conversation, est représenté pour un appel entrant sur la Fig. 9-55. Sur les appels réseau entrants, le réseau de liaison de service permet d'économiser 10 opérations réseau et 25 % du temps de traitement lors de la configuration d'une connexion qui sonne.

Au lieu de trois chemins - sonnerie, sonnerie audible de l'appelant et conversation seule, deux chemins sont nécessaires car un seul chemin dessert à la fois les connexions de sonnerie et de conversation. Le chemin de sonnerie/conversation est divisé au niveau du SLN. Le nombre d'opérations réseau requises pour une connexion qui sonne est ainsi réduit des 19 nécessaires.

Le premier SLN a été mis en service dans le Chicago Calumet No.1 ESS en avril 1970. Des améliorations ultérieures du logiciel ont complété les gains dus au SLN. Par conséquent, le réseau de liaison de service, avec son matériel supplémentaire, n'est plus nécessaire ni proposé. En 1973, les objectifs initiaux de capacité d'appel pour l'ESS n° 1 avaient été atteints et dépassés par les seuls raffinements logiciels.

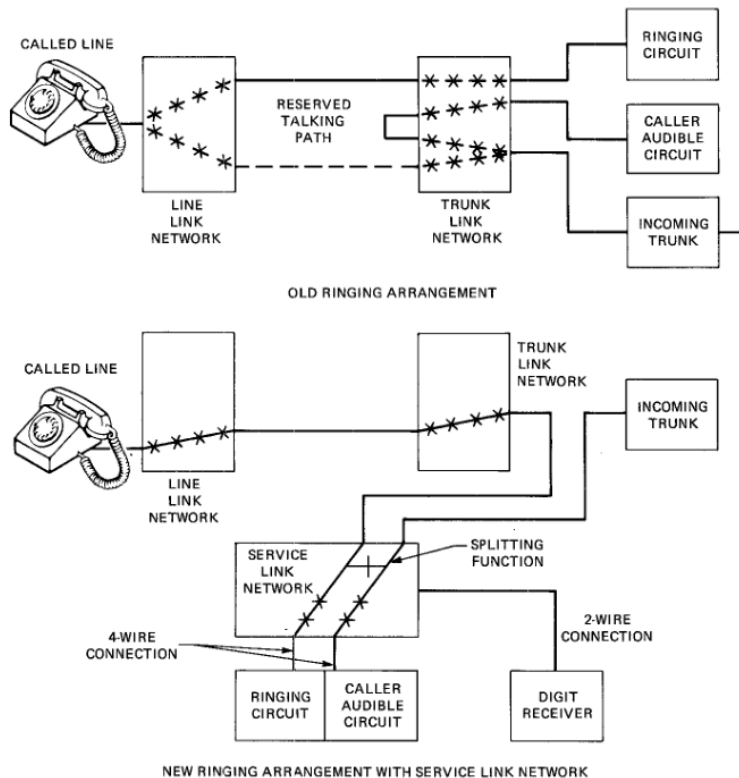


Figure 9-55. Exemple de la façon dont le réseau de liaison de service (SLN) augmente la capacité de l'ESS n°1. Avec SLN (en bas), moins d'opérations réseau sont nécessaires pour configurer les chemins pour :sonnerie et conversation qu'avec l'arrangement précédent (en haut).

6.2 Centrex

Centrex est le nom d'un ensemble de services d'affaires de type PBX qui ont été offerts pour la première fois en 1962 aux clients desservis par le 5. crossbar (voir le chapitre 11, section 1.4 et le chapitre 13, section 3.1). Il a été conçu pour permettre la numérotation directe vers l'intérieur et vers l'extérieur d'un groupe de téléphones, réduisant ainsi la charge de travail du client d'affaires et permettant un traitement plus rapide des appels entrants et sortants. La responsabilité de l'utilisation par téléphone peut être fournie par le biais d'une facturation détaillée.

Avec Centrex-CO, au lieu de fournir un système de commutation sur place, tous les téléphones et les boucles de standard sont renvoyés au central, qui exécute les diverses fonctions de commutation requises. Cela réduit la quantité d'équipements dans les locaux des clients et le nombre de visites nécessaires pour entretenir et reconfigurer l'équipement téléphonique des clients. Ainsi, un compromis économique est fait entre davantage de boucles de clients et moins de charge de travail associée et le partage de l'équipement et des opérations de commutation du central. Le système de commutation du central téléphonique peut desservir un certain nombre de groupes de clients Centrex, chacun avec son propre ensemble de services sélectionnés et de caractéristiques de fonctionnement. Par conséquent, puisque le SSE no 1 a été conçu pour répondre aux besoins métropolitains, il était important que Centrex soit inclus comme offre de service

Un ensemble de 20 fonctions téléphoniques, de standardiste et de partage nécessitait quelque 30 000 mots de programme pour le SSE n° 1, et le programme générique, Centrex-1, a été mis en service pour la première fois dans le central de Philadelphie, Locust en avril 1968. Les fonctions inclus numérotation poste à poste à 4 chiffres, transfert d'appels d'un téléphone à un autre avec l'aide de l'opératrice, composition des appels "0" à l'opératrice et accès à des groupes de lignes réseau spéciaux tels que le change (FX), large le service téléphonique régional (WATS) et les accords de commutation de commande commune (CCSA). Des fonctionnalités ont été ajoutées aux offres Centrex avec des problèmes de programme successifs. Le tableau 9-1 montre les principales fonctionnalités fournies et ajoutées dans la séquence des problèmes de programme du Centrex-1 au Centrex-7. Avec la facilité relative de ces ajouts de fonctionnalités, l'ESS n° 1 est devenu le véhicule le plus attrayant pour Centrex.

Table 9-1. Evolution of Major Features, No. 1 ESS Centrex.

Centrex-1 Generic Program:	Centrex-3 Generic Program:
Console features for attendant operation	Multilocation service
Direct inward dialing	Attendant-established conference calls
Automatic identified outward dialing	Interface with AUTOVON network
Station-hunting arrangements	Centrex-4 Generic Program:
Toll restriction on outward calls	Tandem tie-line operation
Individual/attendant ability to transfer calls to another line	TOUCH-TONE® calling on incoming calls
Ability to hold and consult with party on another extension and to add a third party to the connection	Centrex-5 Generic Program:
Dial-controlled automatic dictation capabilities	Call forwarding and call waiting
Ability to access foreign exchange lines, tie-lines, WATS lines or portions of the public network acting as a corporate private network	Additional attendant call and testing capabilities
Ability to route certain incoming calls to the first idle one of a designated list of extensions	Centrex-6 Generic Program:
Paging	Automatic call distribution capability
Routing of off-hour calls to a fixed location, usually the attendant's station	Additional station-hunting capabilities
	Extension user able to establish conference calls
	Variable assignment of connection of off-hour calls
	Centrex-7 Generic Program:
	Additional capabilities for automatic call distribution
	Features for use of Centrex in a hotel/motel or hospital

En décembre 1969, un ESS Centrex n° 1 a été mis en service au Pentagone à Arlington, en Virginie. En 1971, il desservait 17 000 téléphones Centrex et nécessitait 74 préposés.

Pour certaines des fonctionnalités les plus sophistiquées de l'opérateur, une liaison de données a été fournie pour une communication bidirectionnelle entre l'ESS n° 1 et la console de l'opérateur. Une armoire de commande, située dans les locaux du client, était nécessaire, comme le montre la Fig. 9-56, pour assurer l'interface entre la console et la liaison de données.



Figure 9-56. Jack Leidy, Pennsylvania Bell, vérifiant le contrôleur de la console d'un opérateur Centrex

Dans des configurations plus petites et moins complexes, la console de l'opératrice serait remplacée par un téléphone à touches multiples. Une console plus récente, le système des locaux du client SOA, comportait des sélections directes de station (DSS) et un champ de ligne occupée (BLF). La SOA a été mise en service pour la première fois en 1973 et offre, pour les petits groupes Centrex, une autre alternative à la console contrôlée par liaison de données.

Centrex ESS n°1

Centrex-1 Générique : Programme : Fonctionnalités de la console pour le fonctionnement de l'opératrice Composition directe à l'arrivée Composition automatique à l'extérieur identifiée Dispositions de recherche de station Restriction de l'appel sur les appels sortants Capacité de l'individu/de l'opératrice à transférer des appels vers une autre ligne ajouter un tiers à la connexion Capacités de dictée automatique contrôlées par numérotation Capacité d'accéder aux lignes de change, aux lignes de liaison, aux lignes WATS ou à des parties du réseau public agissant comme un réseau privé d'entreprise Capacité d'acheminer les appels entrants CErtain vers le premier inactif d'une liste de postes désignés Recherche de personnes Acheminement des appels en dehors des heures d'ouverture vers un emplacement fixe, généralement le poste de l'opérateur réseau Programme générique Centrex-4 : Fonctionnement de la ligne de liaison en tandem Appel TOUCH-TONE® sur les appels entrants Programme générique Centrex-5 : Renvoi d'appel et appel en attente Capacités supplémentaires d'appel et de test du standard Programme générique Centrex-6 : Capacité de distribution automatique des appels Poste supplémentaire -capacités de recherche Utilisateur de poste capable d'établir des conférences téléphoniques Affectation variable de la connexion des appels en dehors des heures d'ouverture Programme générique Centrex-7 : capacités supplémentaires pour la distribution automatique des appels Fonctionnalités pour l'utilisation du Centrex dans un hôtel/motel ou un hôpital .

Le n° 1 ESS Arranged for Data Features (ADF) est un système de commutation de données de stockage et de transfert conçu pour gérer les messages entre les télécriteurs à faible vitesse et les ports d'ordinateur. C'était le premier système électronique à gérer le trafic TWX dans le système Bell, et au moment de son premier service pour le département Long Lines d'AT&T en février 1969, il était unique dans sa capacité de traitement du trafic et les débuts des services d'exploitation de commutation électronique. et fonctionnalités. Il desservait plus de 1 250 télécriteurs à quatre rangées (ASCII) et ports informatiques à faible vitesse. Le N° 1 ESS ADF hiérarchise, met en file d'attente, reçoit et délivre jusqu'à 100 000 messages avec plus de 120 millions de caractères par jour à des télécriteurs ayant différentes vitesses de fonctionnement et différents jeux de caractères (Baudot ou ASCII). Il permet la livraison de plusieurs messages sur la base d'un seul message d'origine, ordonne la livraison des messages selon un code de priorité à quatre niveaux désigné dans le message d'origine et stocke les messages livrés sur un fichier de bande magnétique pour une récupération ultérieure. Ces

fonctionnalités et bien d'autres sont utilisées quotidiennement dans l'installation unique de New York, qui gère tous les messages administratifs de Long Lines, les commandes de services commerciaux, les commandes de services de trafic, les résultats de service, la paie, les commandes de circuits d'usine, les rapports d'analyse des dépenses. En basant la conception ADF sur la technologie ESS n° 1, les efforts de développement et de fabrication ont été minimisés et la haute fiabilité des systèmes de commutation téléphonique a été atteinte. Soixante pour cent du matériel ADF et 25 % des 250 000 mots du programme sont des conceptions ESS standard n° 1 déjà utilisées. Le schéma fonctionnel de la Fig. 9-57 indique le nouvel équipement conçu pour l'ADF ESS n° 1. La mémoire de messages est une mémoire à disque magnétique à grande vitesse qui a ensuite été adaptée pour être utilisée dans le système d'interception automatique (voir chapitre 10, section III)

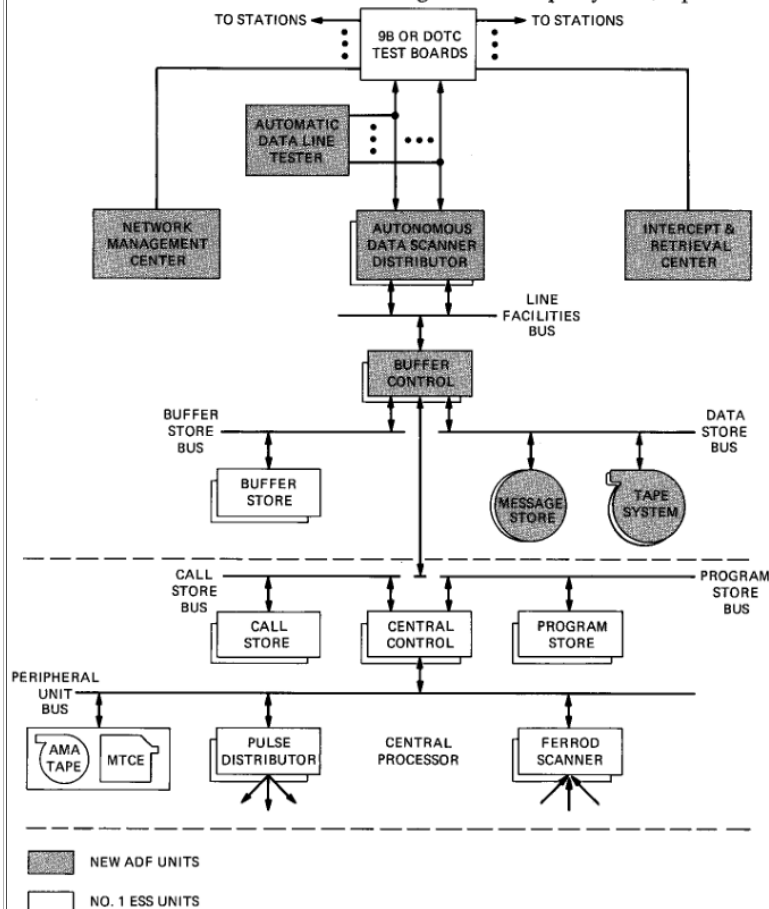


Figure 9-57. Nouvel équipement conçu pour le N°1 ESS ADF (Arranged for Data Features). Les débuts de la commutation électronique .

Fig. 9-58 shows the connection of terminals to the system. As indicated, a number of teletypewriters may share the same narrow band line. In this instance, ADF recognizes the "party line," polls individual stations in turn for incoming messages, and queues outgoing messages for sequential delivery.

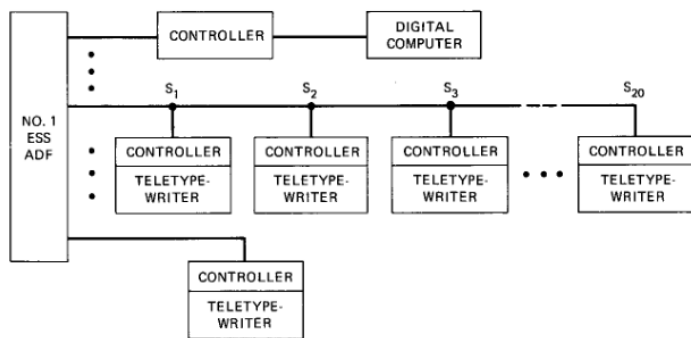


Figure 9-58. Raccordement des terminaux au N°1 ESS ADF

La fiabilité de l'installation initiale a été surveillée et signalée comme étant de loin supérieure à celle des systèmes de commutation de données électromécaniques antérieurs. Après la première semaine de service, ADF a livré plus de dix millions de messages au cours des dix-sept mois suivants sans perte ni erreur d'acheminement. Au moment du déploiement de l'installation ADF, AT&T avait accepté de vendre son réseau de téléscripteurs commutés (TWX) à Western Union (voir chapitre 13, section 5.4). Cela a évité le besoin d'installations supplémentaires et le déploiement futur a cessé.

6.4 Stockage d'appels 32K

La mémoire temporaire initialement fournie avec l'ESS n°1 était la feuille de ferrite, qui utilisait des réseaux de 256 noyaux magnétiques fabriqués en série ainsi que des techniques de câblage simplifiées (voir ce chapitre, section 4.7.1). Les ingénieurs de circuits des laboratoires Bell dans les domaines de la recherche et du développement ont continué à rechercher des mémoires temporaires plus petites et plus rapides en étudiant de nouveaux matériaux, circuits et techniques d'assemblage. Dans le cadre de cet effort continu, des matrices de mémoire à noyau magnétique individuelles ont été étudiées et un certain nombre de modules ont été achetés pour être utilisés dans l'un des laboratoires des systèmes d'Indian Hill à la fin des années 1960.

Un câblage plus simple des matrices de noyau (bidimensionnel au lieu de trois dimensions), des techniques automatiques d'assemblage et de câblage des tapis de noyau et la possibilité de fabriquer des noyaux de ferrite frittés plus petits et plus rapides ont été développés par l'industrie de la mémoire informatique.

À ces contributions, les Bell Labs ont ajouté de nouvelles façons de tester les cœurs pour assurer la minimisation du bruit de navette du cœur et de nouveaux circuits d'accès qui permettaient des tailles de mémoire plus pratiques pour l'application ESS et des vitesses de fonctionnement plus rapides que celles obtenues auparavant à partir de mémoires de cœur de matrice bidimensionnelle. 74 Le résultat a été une nouvelle mémoire temporaire à utiliser dans l'ESS n° 1.

La figure 9-59 montre l'amélioration spectaculaire des trames de mémoire utilisées dans les plus grandes installations ESS

Le module mémoire est de 32 000 mots (d'où le nom 32K) de 24 bits chacun, soit quatre fois le nombre de mots de son prédécesseur .

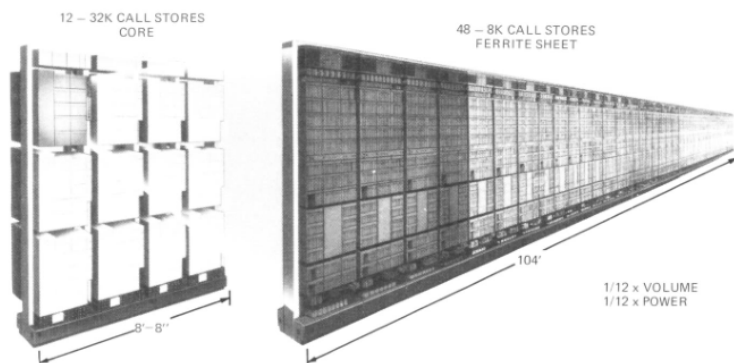


Figure 9-59. Amélioration de la taille et de la puissance des trames de mémoire ESS n°1 obtenues avec les mémoires d'appels 32K. (Symposium Record, International Switching Symposium, Kyoto, Japon, octobre 1976.)

La Fig. 9-60 montre l'analyse économique qui a conduit à la sélection de la nouvelle taille de module.

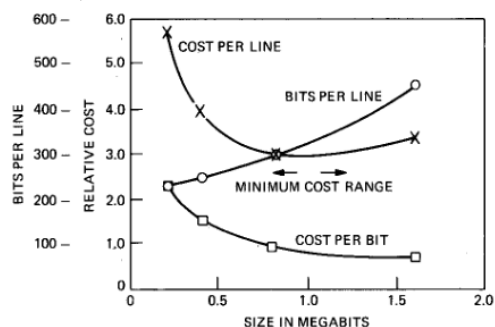


Figure 9-60. Analyse économique conduisant à une taille optimale de la mémoire temporaire n° 1 ESS. Les bits par ligne multipliés par le coût par bit impliquaient un module de l'ordre d'un million de bits. (Actes, Conférence de l'IEE sur les techniques de commutation pour les réseaux de télécommunications, avril 1969.)

Les premières mémoires 32K ont été mises en service dans une installation ESS n° 1 à Alton, Illinois en 1971. En 1972, tous les nouveaux systèmes ESS n° 1 expédiés par Western Electric utilisaient exclusivement la mémoire temporaire 32K.

La mémoire 32K est moins chère à acheter et à entretenir pour les compagnies de téléphone en exploitation. Grâce à l'utilisation de techniques de circuits intégrés dans les circuits d'accès à la mémoire et de commande, beaucoup moins de blocs de circuits enfichables sont nécessaires. Cela permet une résolution diagnostique améliorée des défauts de circuit. De plus, le module de mémoire centrale peut fonctionner, avec différents circuits d'accès, à quatre fois la vitesse requise pour l'ESS n°1.

Ce fait a permis un module commun à l'ESS n°1 et à un autre projet décrit ci-dessous dans la section 6. 9 de ce chapitre.

6.5 Programmes génériques et ajouts de fonctionnalités

Comme indiqué précédemment, l'ensemble complet des programmes de traitement, d'exploitation, d'administration et de maintenance des appels est relativement volumineux et complexe - plus de 200 programmes fonctionnels totalisant de 150 000 à plus de 300 000 mots pour l'ESS n° 1. La décision a été prise relativement tôt de concevoir un programme unique qui couvrirait toutes les applications ou les principaux segments d'applications, d'où le terme "programme générique" pour ESS. Il a été reconnu que de tels programmes nécessiteraient plus de mémoire et prendraient plus de temps à s'exécuter (et donc réduiraient la capacité de traitement des appels du processeur) que des programmes adaptés à chaque installation. Le résultat a été un effort de développement réduit et de meilleurs programmes débogués pour toutes les installations (Ces facteurs ont réduit le coût des programmes pour les sociétés d'exploitation, compensant ainsi la mémoire supplémentaire et le traitement en temps réel requis.) L'utilisation du programme générique avec une table .des paramètres de bureau par opposition aux programmes sur mesure est illustré à la Fig. 9-61

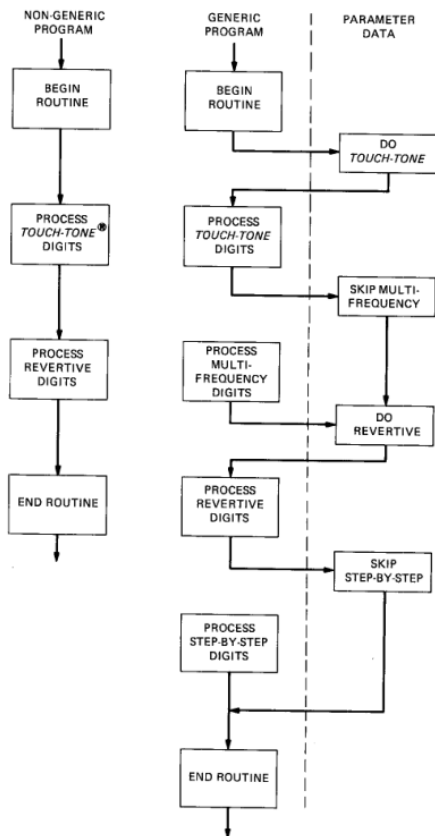


Figure 9-61. Programmes génériques versus programmes sur mesure pour le n°1

L'un des avantages significatifs de l'approche de programme stocké est la facilité relative d'ajouter des fonctionnalités et des services. Presque chaque année, le programme générique a été mis à jour pour fournir un flux constant d'améliorations au SSE n° 1. La fréquence et la taille de ces évolutions sont régulées par le travail nécessaire pour définir et documenter (avec AT&T) les fonctionnalités et services, écrire les programmes, les déboguer d'abord en laboratoire, puis dans un système de "première application" sur le terrain. , et avec Western Electric, rendre la nouvelle édition du programme générique généralement disponible sur le terrain. Il y a toujours plus de candidats pour des fonctionnalités et des services supplémentaires qu'il n'est possible de développer dans une seule mise à jour du programme. Une priorité ou soi-disant "liste d'épicerie" est établie, et des décisions doivent être prises quant aux éléments à inclure dans chaque nouveau développement de programme générique.

Les ingénieurs système des Bell Labs estiment les économies ou les revenus générés par diverses améliorations, les équipes de développement évaluent la quantité d'efforts et le nombre de mots de programme requis, et AT&T prépare une liste de priorités pour chaque nouveau numéro d'un programme générique pour ESS.

La Fig. 9-62 montre la répartition des fonctionnalités et la mémoire de programmes requises pour l'ESS n° 1. 77 L'ensemble croissant de fonctionnalités pour les clients Centrex, qui ne représente qu'une partie de la croissance du programme générique, a été détaillé ci-dessus dans la section 6.2.

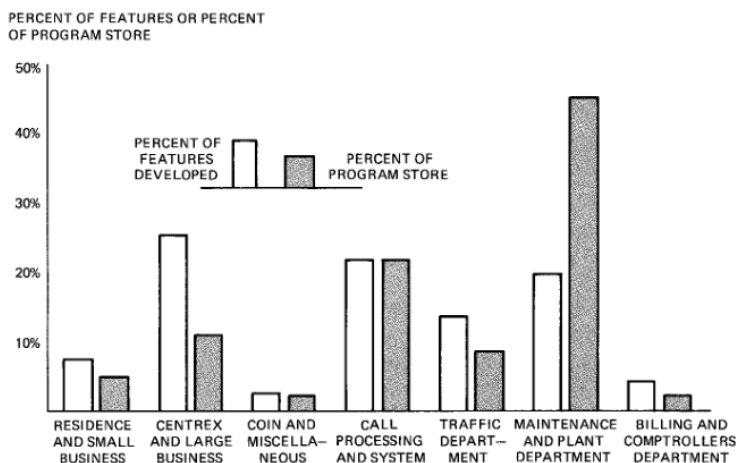


Figure 9-62. N° 1 ESS-Distribution des fonctionnalités et des exigences de stockage du programme. (Symposium Record, International Switching Symposium, Paris, avril 1979.)

La figure 9-63 montre les variétés de programmes génériques et la croissance de la mémoire requise.

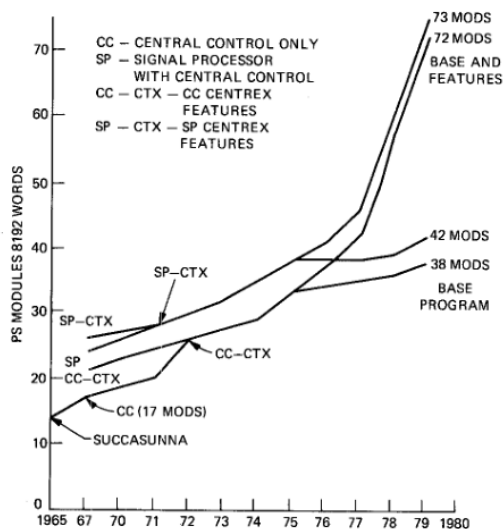


Figure 9-63. Variétés de programmes de gemmes et croissance des besoins en mémoire. Les non-Centrex. les programmes génériques n'ont pas été poursuivis au-delà du numéro 3. (Symposium Record, International Switching Symposium, Paris, avril 1979.)

Puisqu'il était nécessaire que la plupart des installations du SSE no 1 fournissent le service Centrex, les programmes génériques autres que Centrex n'ont pas été poursuivis au-delà du numéro 3. Plus tard, le concept de programme générique a été réexaminé à la lumière d'importants ajouts au programme à utiliser dans applications plus limitées. En 1976, les programmes génériques ont été séparés en un programme de base, avec des fonctionnalités utilisées dans presque toutes les applications, et des packages de fonctionnalités, qui pouvaient éventuellement être sélectionnés et chargés dans des installations individuelles selon les besoins. Les grands programmes (par exemple, ESS-ACD et service de téléphonie mobile ou AMPS) sont fournis au besoin. Cette limitation de la taille du programme a soulagé les sociétés d'exploitation de l'achat de stockage inutile de programmes inutilisés. À cette époque, les techniques de débogage et d'intégration de nouveaux logiciels avaient suffisamment progressé pour rendre cette approche plus pratique.

6.6 Réseau Remreed (remendur)

Lorsque le ferreed a été proposé pour la première fois à la fin des années 1950, l'idée d'utiliser les anches elles-mêmes comme structure magnétique de verrouillage a été proposée par RL Peek. À l'époque, cependant, l'interrupteur à lames ne pouvait pas être fabriqué de manière cohérente avec les propriétés magnétiques nécessaires. Ce problème a été surmonté en 1970, lorsqu'on s'est rendu compte que l'emboutissage des anches à partir de remendur recuit assurait le travail à froid nécessaire du métal. En fabriquant les lames métalliques de l'interrupteur reed de remendur (d'où le nom remreed), l'ensemble de la structure de l'interrupteur peut être réduit en volume à un quart de la taille de l'interrupteur ferré correspondant.

Les ferreds du scanner ont également été réduits en taille et les relais d'accès à ressort filaire ont été remplacés par des transistors npn et des diodes d'accès.

Ces composants sont directement montés dans un boîtier de deux commutateurs huit par huit. Des circuits intégrés ont également été introduits dans les contrôleurs de réseau. Lors de son introduction, l'intégration à petite échelle (SSI) était réalisable.

La figure 9-64 montre les réductions de taille initiales et la réduction supplémentaire des composants et des interconnexions avec l'utilisation de l'intégration à grande échelle.

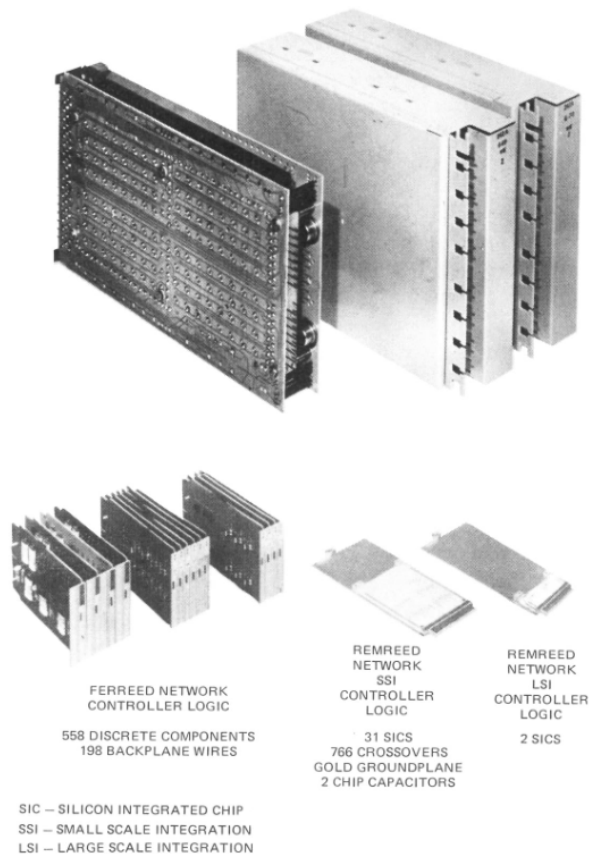


Figure 9-64. Réduction de la taille du commutateur remreed par rapport aux deux commutateurs ferreed équivalents (a) et réduction correspondante des circuits de commande et de leurs interconnexions câblées et liées (b). (Symposium Record, International Switching Symposium, Kyoto, Japon, octobre 1976.)

Comme le montre la Fig. 9-65, la réduction de la taille des composants a entraîné une réduction de la taille de la trame du réseau ESS n° 1 à un tiers ou un quart, selon le type de réseau.

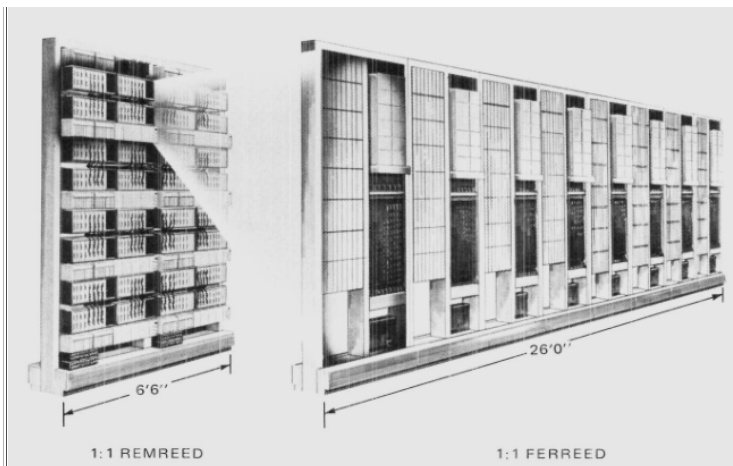


Figure 9-65. Réduction spectaculaire de la taille des composants du réseau de liaison interurbaine du SSE n° 1 rendue possible par le commutateur remreed et les circuits intégrés. (Symposium Record, International Switching Symposium, Kyoto, Japon, octobre 1976.)

Cela a permis à un réseau de liaisons interurbaines (TLN) complet desservant 1 000 lignes réseau de s'intégrer dans un seul cadre d'équipement de 6 pieds 6 pouces. Le TLN est entièrement assemblé et testé en usine, puis expédié comme une seule unité sur le site d'installation. Le TLN ferré se composait de huit cadres et nécessitait beaucoup plus de câblage d'installation pour interconnecter ces cadres. Cela nécessitait également plus de tests de l'unité fonctionnelle assemblée, car les tests en usine des cadres séparés étaient plus limités.

Figure 9-64. Réduction de la taille du commutateur remreed par rapport aux deux commutateurs ferreed équivalents (a) et réduction correspondante des circuits de commande et de leurs interconnexions câblées et liées (b).

6. 7 Maintenance centralisée

L'interface entre l'ESS n° 1 et les techniciens de maintenance se fait au pupitre de commande principal (MCC). À cet emplacement se trouve une machine à écrire de maintenance sur laquelle les messages de panne sont imprimés et les messages d'interrogation et correctifs sont saisis. Tant que le SSE est suffisamment opérationnel pour communiquer sur cette liaison, il peut être considéré comme le principal canal de communication de maintenance. En tant que sauvegarde au cas où le système deviendrait inutilisable, le panneau d'affichage et de commande fonctionne indépendamment de l'ESS pour surveiller l'état des principales unités fonctionnelles et pour permettre la reconfiguration manuelle des unités en double. Avec ces commandes, l'artisan peut essayer de construire un système opérationnel lorsque l'ESS ne peut pas le faire automatiquement.

L'expérience des premières installations ESS a montré que les problèmes étaient suffisamment rares pour que la présence continue des artisans les plus qualifiés n'était pas nécessaire, et qu'un dépannage adéquat allait souvent au-delà de la formation des artisans moins qualifiés. Cela a conduit à la centralisation et à la concentration des compétences au sein du centre d'assistance technique (CAT)

6.7.1 Centre d'assistance technique (CAT)

Le téléimprimeur de maintenance peut être commandé à distance via une liaison de données sur une boucle dédiée ou commutée pour un fonctionnement sans surveillance, et diverses alarmes peuvent être actionnées en conjonction avec le téléimprimeur pour déclencher l'alerte en cas de problème mineur ou difficultés majeures.

Lorsque le nombre d'installations ESS dans une compagnie de téléphone en activité augmentait, ces connexions à distance pouvaient être placées à un seul endroit, connu sous le nom de TAC. Le TAC serait doté d'artisans hautement qualifiés qui seraient alors beaucoup plus fréquemment exposés aux problèmes et deviendraient aptes à relier les problèmes aux expériences antérieures et à les corriger rapidement. Les artisans guidaient par téléphone la personne la moins expérimentée quant aux actions de dépannage et de réparation à entreprendre, ou envoyaient un réparateur si le bureau n'était pas surveillé. Cette amélioration a réussi à réduire le nombre et l'étendue des difficultés de bureau qui nécessitaient les efforts encore plus qualifiés des ingénieurs de contrôle de l'ingénierie des produits de Western Electric ou des ingénieurs de développement des Bell Labs. Cependant, il existait toujours des situations qui nécessitaient l'accès au panneau de commande et d'affichage de la maintenance ; si une difficulté survenait et ne pouvait pas être résolue par la liaison téléimprimeur, l'envoi d'un artisan pourrait prolonger une panne totale du bureau pendant plusieurs heures.

Cela a conduit naturellement à l'étape suivante : la possibilité d'observer et d'utiliser à distance le panneau de commande et d'affichage via une liaison de données de qualité vocale.

6.7.2 Switching Control Center (SCC)

Des expériences à Chicago en 1972 utilisant la télécommande et l'affichage ont conduit au Switching Control Center (SCC), qui a remplacé le TAC et a stimulé la planification d'outils analytiques supplémentaires.

L'étape suivante a été l'ajout d'un mini-ordinateur pour aider le personnel d'artisanat du SCC. Le mini-ordinateur surveillerait les messages entrants, les enregistrerait sur une bande magnétique pour une récupération ultérieure, et détecterait et mettrait en évidence les messages qui nécessitaient l'attention du personnel de sécurité. Il a également permis aux artisans de parcourir les messages sur un écran à tube cathodique en faisant défiler les commandes et de trier et filtrer chronologiquement les messages pour aider à détecter des modèles parmi de longues séquences d'impressions de problèmes. De brefs messages de téléimprimeur peuvent être complétés par des messages plus explicites comme une aide supplémentaire pour l'artisan, et des programmes d'analyse spécifiques déterminent automatiquement les modèles dans les messages de panne de réseau. En incorporant un mini-ordinateur dans le sec, il est devenu possible de desservir de nombreux autres types de systèmes de contrôle à programme enregistré, tels que TSPS, n° 2 et 3 ESS, système d'interception automatique (AIS), n° 101 ESS, etc. Le premier sec avec le système de mini-ordinateur a commencé à fonctionner à Miami, en Floride, en juin 1974.

L'introduction du contrôle par programme enregistré dans le bureau central a fourni une détection automatique des problèmes et une localisation par défaut supérieures à celles obtenues pour les systèmes de commutation non SPC. L'ESS obtient un avantage substantiel en termes de dépenses de maintenance par rapport à la barre transversale n° 5 et aux systèmes électromécaniques antérieurs. La concentration d'artisans qualifiés et l'automatisation supplémentaire des tests et de l'analyse des tests fournis avec le sec réduisent encore les dépenses de maintenance, améliorent la localisation des problèmes et fournissent une assistance plus experte pour récupérer les pannes du bureau central. Au chapitre 11, section 3.3.4, une description d'un SCC pour la barre transversale n° 5 est donnée, mais les améliorations de son efficacité de maintenance sont limitées par l'accès de test intégré à la barre transversale n° 5.

6.8 Circuits interurbains améliorés pour l'ESS n° 1

Même si de nombreuses fonctions de circuits interurbains avaient été placées dans le logiciel pour l'ESS n° 1, de nouveaux relais, bobines et transformateurs miniaturisés, ainsi que de meilleurs dispositifs à semi-conducteurs, ont permis d'autres améliorations spectaculaires de la taille et du coût des circuits interurbains du SSE n° 1. Les circuits de distribution et de balayage associés ont également été améliorés pour obtenir une réduction de taille de trois à sept fois et une réduction des coûts et de l'intervalle d'installation. Ces améliorations ont été introduites sur le terrain à partir du printemps 1976 à Salt Lake City, Utah. La Fig. 9-66 montre le châssis de circuit Universal Trunk (UT) amélioré.

Les cadres UT ont réduit de 25 % l'espace au sol requis pour un ESS

6.8.1 Circuits de ligne réseau HiLo

Bien que 4 fils ! des réseaux ferrés ont été conçus et sont utilisés dans le réseau n° 1 ESS AUTOVON pour la transmission à péage, ils sont relativement importants et la production a été limitée à cette application. Pour répondre au besoin d'un service à 4 fils, une alternative innovante a été proposée pour une utilisation avec le réseau remreed. Le réseau remreed, étant moins d'un quart de la taille du réseau ferreed, a considérablement réduit le couplage capacitif et magnétique inhérent entre la pointe et l'anneau et entre les paires dans les voies vocales du réseau.

Le nouveau circuit interurbain (voir Fig. 9-67) sépare la paire en voies unidirectionnelles distinctes. En utilisant une impédance élevée à l'extrémité de transmission, la diaphonie inductive est inhibée ; un récepteur à faible impédance inhibe la diaphonie à couplage capacitif, d'où le nom HiLo. Cette technique réduit la diaphonie due à la

transmission déséquilibrée à un niveau comparable à celui obtenu avec une transmission équilibrée à 4 fils. L'approche HiLa a introduit la commutation à 4 fils pour les applications en tandem et à péage dans l'ESS n° 1, à partir d'avril 1977 à Sioux Falls, Dakota du Sud

6.9 Le processeur 1A

À la fin des années 1960 et au début des années 1970, plusieurs efforts ont été lancés pour augmenter la capacité de transport d'appels de l'ESS n° 1. Une approche consistait à réécrire les parties du programme qui étaient de grands utilisateurs du temps réel du processeur. Un autre était d'augmenter l'efficacité de l'interconnexion du réseau avec le réseau de liaison de service (voir la section 6.1 de ce chapitre). Le troisième était d'explorer la possibilité de fournir un nouveau processeur pour l'ESS n° 1 en utilisant des technologies plus récentes - un contrôle central plus rapide et des schémas d'accès à la mémoire plus rapides. Au cours de cette étude, il a également été reconnu qu'un puissant .

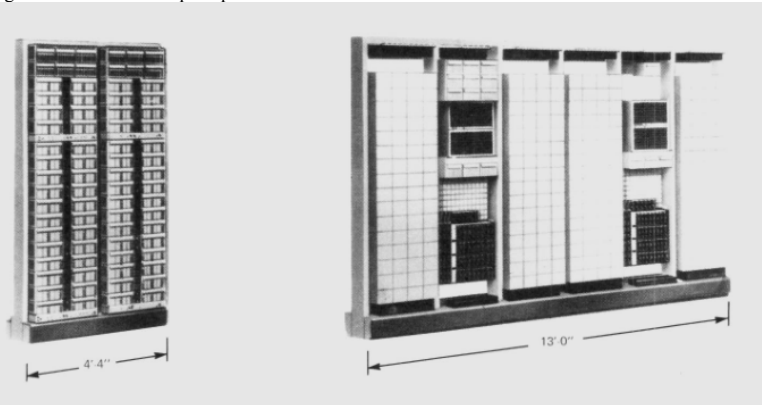


Figure 9-66. Cadres de coffre universels pour ESS n° 1.

Les innovations technologiques ont abouti à une unité plus petite (à gauche) remplaçant son prédécesseur (à droite) pour réduire l'espace au sol requis de 25 %. (Symposium Record, International Switching Symposium, Kyoto, Japon, octobre 1976.) suffisamment de processeurs pourraient desservir le SSE interurbain proposé, et éviter ainsi la nécessité d'un réseau complexe de multitraitement de processeurs du SSE n° 1 (voir le chapitre 12). Plusieurs architectures de processeur ont été envisagées, y compris des variantes de technologies de mémoire. Le développement de ce processeur pour plusieurs applications a été autorisé par Western Electric en 1970

Un schéma fonctionnel du processeur 1A est illustré à la Fig. 9-68

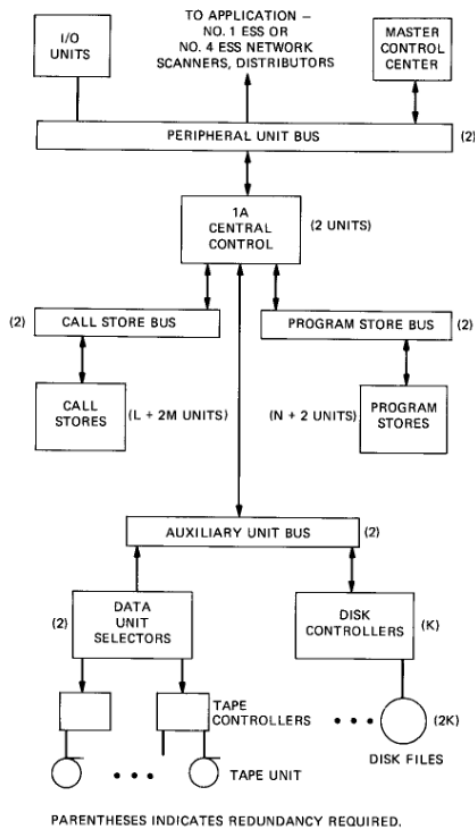


Figure 9-68. Schéma fonctionnel du processeur 1A, qui exécute les instructions quatre à huit fois plus rapidement que l'ancien contrôle central ESS n° 1

Bien que cela ne soit pas représenté sur la figure, la redondance est fournie pour toutes les principales unités de sous-système et les bus d'interconnexion. Une paire de commandes centrales est microsynchronisée et l'exécution de chaque instruction est adaptée. Chaque commande centrale est composée de 50 000 portes de circuit intégrées et peut exécuter des instructions quatre à huit fois plus rapidement que son prédécesseur, la commande centrale n° 1. La mémoire principale se compose de deux matrices de modules de mémoire à noyau magnétique de 32 000 mots décrits précédemment pour la mémoire de programmes et la mémoire d'appels. Les mémoires de mémoire de base fonctionnent selon un cycle système de 1,4 microsecondes et la sauvegarde est fournie avec une ou deux pièces de rechange itinérantes (à l'exception de certaines informations critiques où la duplication complète est conservée). Le schéma de rechange itinérant plus flexible est intrinsèquement plus fiable que le schéma de duplication complète fixe. Étant donné que les modules de mémoire de base ne conservent pas leurs informations lorsque l'alimentation est coupée et que les programmes peuvent être écrasés, la sauvegarde du programme est assurée sur des mémoires à disque à tête fixe à grande vitesse.

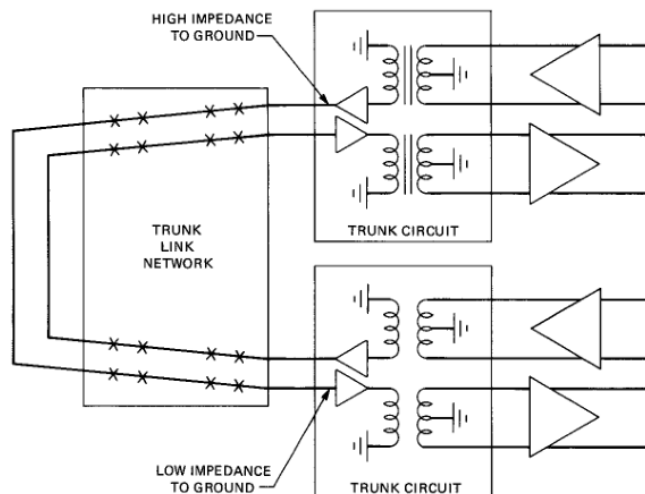


Figure 9-67. Le circuit de jonction HiLo, introduit en 1976, permettait la commutation à 4 fils dans les applications tandem et péage ESS n° 1. (Symposium Record, International Switching Symposium, Kyoto, Japon, octobre 1976.)

Le processeur 1A avec mémoires à noyau magnétique n'occupe que 40 % de l'espace au sol de son prédécesseur. Sa taille compacte et son câblage interconnecté entre unités permettent un assemblage et un test complets du processeur en usine, et un plan d'étage fixe simplifie l'ingénierie de bureau.

Le processeur 1A a été conçu pour deux applications : en tant que successeur du processeur central de commande et de signal de l'ESS n° 1 dans ses applications locales et en tandem, et en tant que processeur pour le très grand nouveau bureau de péage, l'ESS n° 4. La structure de commande du processeur 1A est conçue pour fonctionner directement avec le programme périphérique ESS n° 1 via un processus de conversion logicielle. Cela permet la réutilisation étendue du logiciel ESS n° 1 avec un minimum d'écriture, de débogage et de documentation supplémentaires. Un nouveau programme de processeur commun est requis, mais ce logiciel est utilisé à la fois dans l'ESS n° 1A et l'ESS n° 4. L'ESS n° 4 est entré en service pour la première fois en janvier 1976 et le premier ESS n° 1A en octobre 1976, tous deux à Chicago, Illinois. Dans cette dernière application, le processeur 1A a une capacité de transport d'appels maximale de 240 000 appels par heure, soit plus du double de celle de l'ESS n° 1.

Étant donné que le processeur 1A est directement compatible avec le système périphérique ESS n° 1, le processeur 1A peut être installé ultérieurement dans les installations ESS n° 1 existantes. Étant donné que le processeur 1A peut gérer plus de deux fois plus d'appels par heure chargée que son prédécesseur, un processeur 1A d'une modernisation peut étendre les grands bureaux ESS n° 1 beaucoup plus loin avant qu'une deuxième entité ne soit nécessaire.

On estime que la grande capacité de l'ESS n° 1A réduira le nombre total de grands ESS requis d'ici 1990 de 1 600 à 1 300. Un grand ESS n° 1A peut remplacer plusieurs systèmes plus anciens, économisant ainsi jusqu'à 25 % de la jonction.

Les travaux sur ce projet ont commencé en 1973 et la première rénovation a été effectuée dans le bureau de San Francisco Folsom Street le 20 janvier 1978. Les processeurs remplacés sont ensuite réutilisés dans le cadre des nouveaux bureaux ESS n° 1 à d'autres endroits.

Pour correspondre à la capacité accrue du processeur, les réseaux de liaison de ligne et de liaison interurbaine ont été augmentés dans leur nombre et leur taille maximum. 9-69 montre la relation entre le processeur et le réseau en fonction de la durée d'attente de l'appel à l'heure chargée.

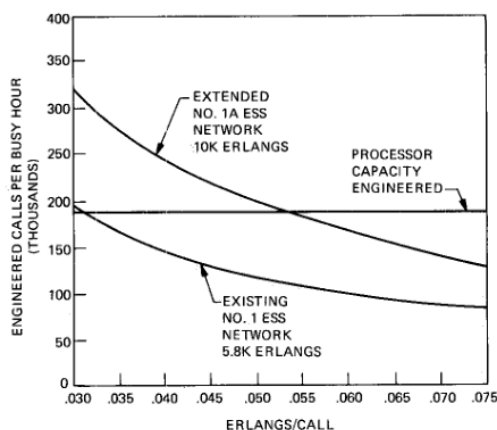


Figure 9-69. Les réseaux line link et trunk link ont été étendus pour gérer un trafic téléphonique supplémentaire (courbe du haut), correspondant ainsi à la plus grande capacité du processeur 1A. (Symposium Record, International Switching Symposium, Kyoto, Japon, octobre 1976.)

Le processeur et le réseau sont jumelés pour des appels de trois minutes, ce qui correspond à la moyenne des appels locaux dans le système Bell. 86 Les SSE n° 1 et n° 1A utilisent le réseau remreed avec les circuits interurbains HiLo pour fournir des interconnexions spatiales à 4 fils. En conséquence, les ESS n° 1 et n° 1A sont conçus pour fournir des combinaisons de service local/tandem/péage dans les zones où un bureau central moderne est nécessaire et pour lesquelles l'ESS n° 4 est trop grand pour être économique.

6.10 Systèmes de mémoire améliorés

Comme indiqué ci-dessus dans la section 6.4, une mémoire à noyau magnétique de 32 000 mots a été introduite en 1971 pour réduire le coût de la mémoire d'appels n° 1 du SSE. Lorsqu'elle est connectée à des circuits d'accès plus rapides, cette même mémoire a servi, à partir de 1976, à la fois de module de stockage de programmes et de module de stockage d'appels pour le processeur 1A. La mémoire centrale a réalisé des réductions substantielles de taille, de puissance et de coût par rapport au prédécesseur de la feuille de ferrite. La technologie avait progressé au début des années 1970 au point où une mémoire centrale beaucoup plus petite semblait capable de réaliser une autre réduction de taille et de coût. Cependant, les mémoires à semi-conducteurs devenaient également plus attrayantes (un tiers de l'espace et un cinquième de la puissance du cœur 32K) et ont remporté le concours pour être la prochaine génération de mémoire principale pour ESS.

La mémoire semi-conductrice a été utilisée pour la première fois dans un ESS n° 1A en juillet 1977, dans le bureau de Wilmington, Delaware.

Les mémoires à bulles magnétiques ont également été étudiées comme un remplacement possible des mémoires à disque dans le processeur 1A au début des années 1970, mais à cette époque, elles n'avaient pas d'avantage économique.

L'intérêt demeure de trouver une mémoire de masse à semi-conducteur économique pour rivaliser en termes de coût avec les mémoires à disque rotatif. La fiabilité inhérente plus élevée des dispositifs qui n'ont pas de pièces mobiles est un facteur de motivation.

L'utilisation de faisceaux laser dans une très grande mémoire holographique a également été explorée - essentiellement une mémoire photographique avec le potentiel d'un très grand stockage et d'un accès aléatoire à grande vitesse. Ce travail a commencé au début des années 1970, mais n'a pas atteint le stade de compétitivité économique.

6.10.1 Le rôle du SPC dans le service de téléphonie mobile

L'utilisation importante des systèmes radio mobiles privés remonte à 1921, à commencer par le service de police de Detroit. Au fil des ans, la Federal Communications Commission a accordé des spectres radio supplémentaires pour augmenter les licences privées à plus de huit millions d'utilisateurs (et huit autres millions sur CB). Ces systèmes ne se connectent pour la plupart pas au réseau téléphonique. À partir de 1946, le Bell System a inauguré un système à trois canaux à Saint-Louis. Au cours des années suivantes, des fréquences supplémentaires ont été attribuées, des améliorations ont été apportées au passage du service manuel à l'automatique, et des liaisons ont été ajoutées entre les unités mobiles et les canaux disponibles. Cependant, seulement 143 000 clients sont desservis par Bell et les transporteurs publics radio (RCC). Il y a des dizaines de milliers de commandes en attente pour les systèmes de téléphonie mobile connectés à l'opérateur, même si le tarif est dix à vingt fois supérieur à celui de la téléphonie résidentiel.

Parce que le temps d'attente est si long, il y en a beaucoup d'autres qui ont besoin de ce type de service mais qui n'ont pas pris la peine de s'ajouter à la liste d'attente.

Depuis 1947, Bell System a exprimé à la Commission fédérale des communications, dans un certain nombre de dossiers d'examen, son intérêt pour un système de téléphonie mobile à grande échelle. Dans le dossier 1926, Bell a présenté en 1971 une nouvelle version du système cellulaire, qui réutilise un groupe de fréquences de base dans des cellules hexagonales non adjacentes.

Lorsque l'unité mobile se déplace de cellule en cellule, sa connexion est déplacée d'un émetteur-récepteur à l'autre sous le contrôle d'un système de commutation de central téléphonique.

L'ESS n° 1 a été choisi comme centre de commutation de téléphonie mobile (MTSO), car elle possède la capacité logicielle d'attribuer des cellules et des fréquences lorsqu'un appel est "transféré" de cellule à cellule.

En outre, le MTSO doit localiser la cellule pour les départs et fournir des commodités supplémentaires aux clients mobiles. Initialement, l'intention était de combiner les services locaux et mobiles dans le même centre de commutation. En 1975, la FCC a donné le feu vert au système Bell pour un essai sur le terrain de développement du système cellulaire, mais le bureau de commutation se limiterait à gérer uniquement les appels vers et depuis les unités mobiles. Un ESS n° 1, situé à Oakbrook, dans l'Illinois, a été mis en place pour faire fonctionner quelques cellules et unités mobiles. Le succès de l'essai devrait conduire à un test de service plus important et, avec l'approbation de la FCC, à un service commercial.

VII. NON. 2 DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME LOCAL DU SSE

Le développement de l'ESS n° 2 était une extension évolutive des développements de l'ESS n° 101 et n° 1.

En juillet 1961, lors du développement du n° 101 ESS, la possibilité d'étendre ce système pour fournir des services de bureau central améliorés a été notée. Les premières idées comprenaient une refonte du processeur n° 101 et une augmentation de la capacité de mémoire pour lui permettre d'avoir une gamme d'applications plus large, y compris la desserte de plus grandes unités de commutation PBX et également de téléphones principaux, via des unités de commutation à distance..

7.1 Le système initial

En réponse aux demandes de l'ingénierie AT&T, une étude a été entreprise en 1963 par A. Feiner, W. Ulrich et FS Vigilante d'un petit système de commutation électronique à utiliser dans des arrangements à 2 fils et comme bureau à 4 fils à utiliser dans CONUS AUTOVON. La conception du processeur comprenait des instructions d'un seul mot et d'un demi-mot pour conserver la mémoire du programme, des instructions spéciales pour imbriquer efficacement les sous-programmes et une unité d'entrée / sortie autonome pour effectuer la numérisation et d'autres opérations répétitives entrelacées sur une base de "cycle-stealing" avec le programme d'appel. La périphérie utilisait un réseau ESS n° 1 et un appareil de circuit interurbain dans une configuration plus petite et plus économique que celle de l'ESS n° 1. Par exemple, le nombre de contrôleurs de réseau a été réduit, le réseau a été simplifié en un réseau unilatéral à quatre étages où les lignes et les troncs sont apparus sur une trame de réseau combiné ligne-tronc, et la variété des concentrations de réseau a été réduite, ce qui simplifiait matériel et logiciel. D'autres simplifications ont été proposées avec l'utilisation du magasin de programmes de *torsion électriquement inscriptible* (PBT) pour éviter le coût d'un graveur de carte magnétique et les dépenses continues associées de l'écriture de carte requise du *aimant permanent à torsion* (PMT) utilisé dans No 1 ESS. D'autres propositions comprenaient des bus de communication simplifiés, étant donné que la taille physique du bureau serait beaucoup plus petite que l'ESS n° 1 et, en raison d'un nombre total de composants inférieur, des dispositions de reconfiguration simplifiées pour le bus de communication et les unités fonctionnelles. L'ESS n° 2, comme le système a été nommé plus tard, devait fournir un service à utiliser pour 10 000 lignes et 25 000 appels par heure chargée et desservir jusqu'à 2 000 lignes réseau dans l'application AUTOVON. Des études de comparaison de prix ont montré que l'ESS n°2 se comparait favorablement crossbar n°5 à partir de 600 lignes, avec des économies substantielles entre 3 000 et 10 000 lignes. À cette époque, les magasins PBT rencontraient de graves problèmes de conception, et il a finalement été décidé que l'application n°2 ESS AUTOVON ne serait pas économiquement intéressante. Les travaux sur cette partie du projet ont été arrêtés en décembre 1966. La conception du bureau à 2 fils s'est poursuivie, en utilisant le PMT et les mémoires de feuille de ferrite.

En 1968, un modèle de laboratoire de système à 2 fils était en service aux laboratoires d'Indian Hill, dans l'Illinois, et en novembre 1970, le premier bureau a été mis en service à Oswego, dans l'Illinois. Un schéma fonctionnel de la version de production de l'ESS n° 2 est illustré à la Fig. 9-70.

À l'été 1976, 200 installations de l'ESS n° 2 équipées pour un million de lignes étaient en service. Le processeur ESS n° 2 a également servi d'unité de contrôle pour une autre application, le système d'interception automatique (AIS), qui est décrit au chapitre 10, section III.

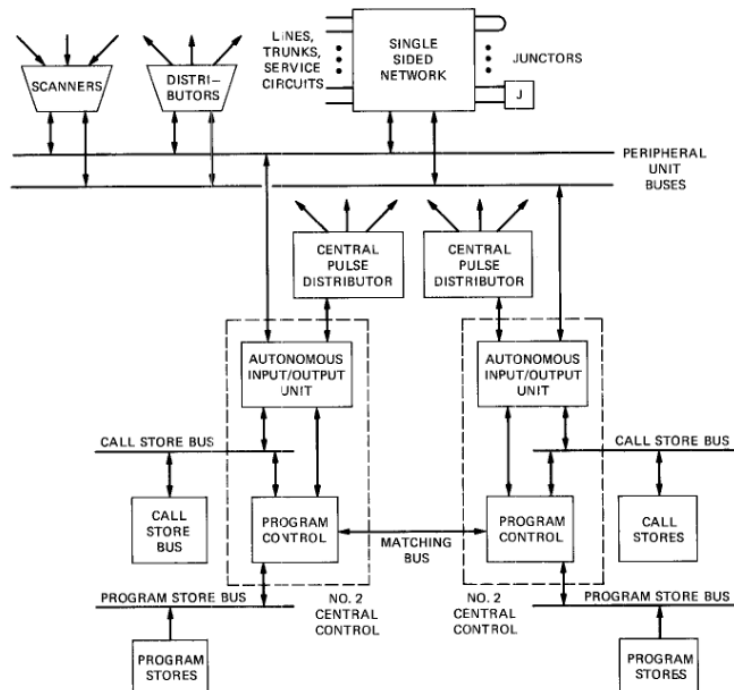


Figure 9-70. Schéma fonctionnel de l'ESS n° 2 illustrant le réseau unilatéral avec des réseaux de terminaux de réseau communs pour les lignes, les circuits interurbains et les circuits de service.

7.1.1 Version transportable (n° 2A ESS)

Reconnaissant que les coûts de construction augmentaient rapidement, les ingénieurs des Bell Labs ont conçu des modules transportables du n° 2 (désignés n° 2A ESS) pour une installation rapide dans des zones rurales ou suburbaines.

La Fig. 9-71 montre les modules ESS n° 2A en cours de transport de l'usine au site d'installation.



Figure 9-71. Transportable n°2A ESS. Les unités sont assemblées en usine avec des câbles connecteurs. Installé sur une fondation préfabriquée, le système fournit rapidement le service pour 3000 lignes.

Trois de ces modules d'équipement, chacun de 12 pieds de large sur 48 pieds de long, peuvent contenir l'équipement de commutation et les batteries d'un bureau de 3 000 lignes. Des modules supplémentaires offrent une capacité de 15 000 lignes, un service d'alimentation et un centre d'administration en option.

Le système complet est assemblé en usine avec des câbles connecteurs entre les modules. Le module peut être rapidement installé sur une fondation préfabriquée et branché pour une installation rapide et efficace sur le site. Des panneaux de façade peuvent être installés pour offrir un extérieur plus agréable.

Le premier ESS n° 2A est entré en service à Sun Valley, Nevada en novembre 1972.

7.2 La commande centrale 3A et l'ESS n° 2B

Bien que réussi, l'ESS n° 2 n'était pas économique en dessous de plusieurs milliers de lignes par rapport à la communauté « pas à pas », même si l'ESS n° 2 offrait beaucoup plus de capacités. Le processeur ESS n° 2, pour respecter ses calendriers de développement, a dû renoncer à la logique de circuit intégré monolithique et à la mémoire PBT. De plus, le réseau ESS n° 2 pourrait s'étendre au-delà de 10 000 lignes pour atteindre 20 000, mais la capacité de traitement des appels du processeur ESS n° 2 limitait la taille pratique dans presque tous les bureaux à 10 000 lignes ou moins.

Plusieurs efforts de conception exploratoire indépendants ont été entrepris pour fournir le contrôle d'un très petit bureau. Les idées de conception ont été fusionnées en une seule commande microprogrammée qui est devenue le 3A CC (commande centrale), le processeur de l'ESS n° 3. La capacité de microprogrammation du nouveau processeur, ainsi que les avantages de prix et de taille obtenus grâce à l'utilisation d'une logique de circuit intégré et de mémoires à semi-conducteurs, l'ont rendu attrayant pour plusieurs applications de commutation.

Bien que des contrôles redondants aient été généralement utilisés, ces processeurs disposaient de capacités d'auto-vérification étendues et n'employaient pas de techniques d'appariement pour la détection des erreurs.

Une version de circuit intégré de la logique d'entrée / sortie autonome de l'ESS n° 2 a été ajoutée au 3ACC, étendant la largeur des mots de données de 16 à 24, et la mémoire du microprogramme a été réglée pour émuler les instructions du processeur n° 2 ESS. Avec ces changements, l'ESS n° 2 a été à la fois considérablement réduit en coût et augmenté en capacité.

La nouvelle configuration, l'ESS n° 2B, a été mise en service pour la première fois à Acworth, en Géorgie, en février 1976.

Le système Acworth était en fait un ESS n° 2C un agencement transportable du n° 2B. Le premier ESS n° 2B a été mis en service à Elgin, Illinois en juin 1976. Étant donné que le nouveau processeur émule directement les programmes ESS n° 2, une grande partie de l'investissement logiciel dans l'ESS n° 2 est conservée avec un minimum d'efforts de test supplémentaires. de l'intégrer dans l'ESS n° 2B. Le processeur 2B peut être installé ultérieurement dans un ESS n° 2 afin que les ESS n° 2 existants aient la possibilité de doubler leur capacité avant de s'épuiser.

La première mise à niveau d'un processeur 2B a été effectuée à Northbrook, Illinois en avril 1977.

Le processeur 2B a abouti à la classification comme fabrication abandonnée (MD) du processeur ESS n° 2 en 1977.

Encore une fois, on peut noter le raccourcissement du cycle de vie des processeurs de commutation téléphonique dans ce cas à moins d'une décennie. Le 3ACC a également été employé, à partir de 1976, dans un réseau privé spécial qui gérât les transactions par carte de crédit. Cette application est notée au chapitre 13, section 5.4. Une troisième application concernait le système de traduction électronique n° 5, qui offrait une capacité de programme stocké pour le crossbar n° 5. (Voir le chapitre 11, section 1.14.2 pour une description de l'ESS n° 5.)

7.3 Centrex et autres développements de fonctionnalités

Le premier programme générique pour l'ESS n° 2 était le L0-1 bureau local mis en service en 1970 avec 182 fonctions résidentielles, d'affaires, de traitement des appels, d'administration de la maintenance, de trafic et de facturation. Cela se compare favorablement aux 124 fonctionnalités du programme ESS n° 1 initial.

Le deuxième programme générique, EF-1 (Extended Features-1) est entré en service en février 1974, à Naperville, Illinois. EF-1 a ajouté 128 fonctionnalités, dont la plupart étaient des fonctionnalités d'exploitation et de maintenance Centrex. Le service Centrex de l'ESS n° 2 a été fourni pour la première fois au centre de recherche AMOCO à Naperville, Illinois en avril 1974.

En raison de la différence d'environnement d'exploitation entre l'ESS n° 1 et l'ESS n° 2 (boucles plus longues, plus de développement de porteuse T), plusieurs fonctionnalités sont apparues sur l'ESS n° 2 qui n'avaient pas été ajoutées à l'ESS n° 1 à la fin de 1976. Des circuits spéciaux d'amplification d'extension de gamme et d'amplification de batterie ont été placés dans les liaisons du réseau B pour être connectés à de longues boucles. En concentrant les prolongateurs de portée à l'intérieur du réseau, le nombre de prolongateurs a été réduit par rapport à celui requis s'ils étaient attachés à chaque longue boucle. Un prolongateur plus puissant, qui adaptait sa compensation en fonction de l'état de la boucle, a ensuite été ajouté. Ces circuits, plus tard connus sous le nom de CREG (extension de gamme concentrée avec gain), ont été utilisés pour la première fois dans le bureau de North Madison, Connecticut, qui est entré en service en août 1976.

Une deuxième caractéristique est la combinaison des banques de canaux T Carrier D3 et No. 2 circuits principaux ESS en une seule unité fonctionnelle pour éliminer la signalisation, les composants et le câblage redondants. Cette fonctionnalité est entrée en service à Lake Villa, Illinois en novembre 1977.

La commutation temporelle aux Etats-Unis

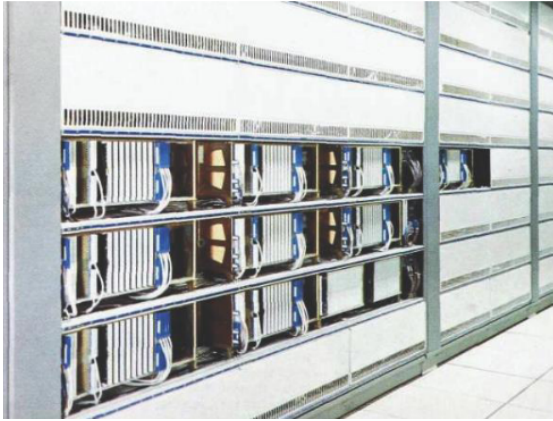
Le développement de ESS N°4 a commencé vers 1970, à Naperville, Illinois toujours sous la direction de Henry Earle Vaughan.

AT&T Long Distance était le principal client du commutateur. Billy Oliver, vice-président d'AT&T, a dirigé le développement du point de vue du client.

Les systèmes de commutation spatiale précédents, principalement le commutateur Crossbar n° 4, utilisaient la signalisation vocale analogique. La décision de passer à un format vocal numérique était controversée à l'époque, tant d'un point de vue technique qu'économique. Néanmoins, des visionnaires tels que Vaughn et Oliver ont reconnu que le réseau finirait par devenir numérique, nécessitant des technologies de commutation numérique.

Le Nokia N4E-N1B (Nouveau ESS 4) est le commutateur de nouvelle génération. Le N4E-N1B comprend les logiciels 4E APS et 4ESS, mais remplace le processeur 1B et les unités périphériques. Le N4E-N1B est basé sur la plate-forme Alcatel-Lucent (désormais Nokia)

Le dernier ESS N°4 a été installé dans la banlieue d'Atlanta, GA en 1999 en tant que tandem de péage pour AT&T. Au plus fort de la durée de vie du produit en 1999, AT&T employait 145 commutateurs ESS 4 dans son réseau longue distance, et plusieurs appartenaient à diverses sociétés d'exploitation régionales de Bell (RBOC).



1982 Le ESS 5 est arrivé sur le marché sous le nom de Western Electric No. 5 ESS. Il a commencé son service à **Seneca**, dans l'Illinois, le 25 mars 1982, et était destiné à remplacer le système de commutation électronique numéro un (ESS 1 et ESS 1A) et d'autres systèmes électromécaniques dans les années 1980 et 1990. Le ESS 5 a également été utilisé comme commutateur téléphonique de classe 4 ou comme commutateur hybride de classe 4/classe 5 dans des marchés trop petits pour le ESS 4. Environ la moitié de tous les bureaux centraux américains sont desservis par des commutateurs ESS 5. Il est également exporté à l'international et fabriqué sous licence en dehors des États-Unis.

La version ESS-2000, introduite dans les années 1990, a augmenté la capacité du module de commutation (SM), avec plus de modules périphériques et plus de liaisons optiques par SM vers le module de communication (CM). Une version de suivi, le 5ESS-R / E, était en développement à la fin des années 1990 mais n'a pas atteint le marché.

La technologie ESS 5 a été transférée à la division AT&T Network Systems lors de l'éclatement de Bell System en 1984. La division a été cédée par AT&T en 1996 sous le nom de Lucent Technologies , et après être devenue Alcatel-Lucent en 2006, elle a été acquise par Nokia en 2016.

À partir de la fin des années 2010 et au début des années 2020, AT&T remplace les anciens commutateurs ESS 4 par des commutateurs N4E-N1B, et ajoute également de nouveaux commutateurs N4E-N1B dans des endroits où il n'y avait pas de ESS 4 auparavant. Il est supposé que ces nouveaux commutateurs N4E-N1B prennent en charge les fonctions de classe 4 qui étaient auparavant gérées par des commutateurs ESS 5 agissant comme des « tandems de périphérie ».

L'effort de développement de ESS 5 a nécessité cinq mille employés, produisant 100 millions de lignes de code source système, principalement en langage C , avec 100 millions de lignes de fichiers d'en-tête et de makefiles . L'évolution du système s'est déroulée sur 20 ans, tandis que trois versions étaient souvent développées simultanément, chacune prenant environ trois ans à développer. Le ESS 5 était à l'origine uniquement américain et le marché international a abouti à un système et une équipe de développement complets, parallèlement à la version américaine.