

LSGD , LGD Lignes à grande distance

De l'invention du téléphone, en 1876, à la nationalisation de la société française du téléphone en 1889, le développement du réseau téléphonique est pris en charge par des sociétés privées. On compte alors 12 000 abonnés au service téléphonique en France, contre 177 000 en Europe, et 211 000 aux États-Unis.

Le ministère des postes et télégraphes, les « PTT », créé en 1879, le 26 juin 1879, il publie un arrêté déterminant les conditions auxquelles pourront être concédés les 1 téléphoniques.

Les contraintes se retrouvent dans les conditions qui président à l'établissement du réseau : d'une part, la SGT agit sous l'oeil sévère et parfois suspicieux de l'administration ; d'autre part, elle œuvre dans Paris, ville aux institutions anciennes dont le sous-sol est à la fois très convoité et très réglementé.

La France demeure très en retard néanmoins, le nombre d'abonnés passant de 62 000 à 212 000 entre 1900 et 1910, ce qui correspond à un accroissement annuel moyen de 13 %, contre 21 % aux États-Unis, où l'automatisation des centraux téléphoniques est déjà en cours.



Communiquer plus loin : On constate au début du téléphone que les microphones à charbon peuvent être utilisés comme amplificateurs .

Cette capacité a été utilisée dans les premiers **répéteurs téléphoniques** , rendant les appels téléphoniques longue distance possibles à l'époque précédant les amplificateurs à tubes à vide. Dans ces répéteurs, un récepteur téléphonique magnétique (un transducteur électrique-mécanique) était couplé mécaniquement à un microphone à charbon. Étant donné qu'un microphone à charbon fonctionne en faisant varier le courant qui le traverse, au lieu de générer une tension de signal comme avec la plupart des autres types de microphones, cet arrangement pourrait être utilisé pour amplifier les signaux faibles et les envoyer sur toute la ligne. Ces amplificateurs ont été pour la plupart abandonnés avec le développement des tubes à vide , qui offraient un gain plus élevé et une meilleure qualité sonore ...

Une illustration de l'amplification fournie par les microphones à charbon était l'oscillation provoquée par le feedback (larsen), qui se traduisait par un cri audible du vieux « téléphone chandelier » si son écouteur était placé près du microphone à charbon.

Aux États-Unis, en 1888, un gigantesque blizzard abat tous les fils aériens.

Vu les conséquences économiques de cette catastrophe, la Bell Téléphone lance l'étude de la mise au point de câbles souterrains, si bien que dans les années 90 il a pu être commencé de les utiliser. C'est le point de départ des câbles souterrains à grande distance ; mais le vrai démarrage apparaît avec la généralisation dans ce pays de la **pupinisation** et l'apparition des amplificateurs à lampes.

Au début du téléphone, sur ces premières liaisons téléphoniques, les courants qui circulaient étaient tout simplement les courants analogiques bruts générés par les voix des deux correspondants au travers des microphones des téléphones. De ce fait, les signaux étaient rapidement affaiblis par les pertes induites par les câbles métalliques, ainsi que par les courants telluriques qui parasitaient les transmissions vocales brutes. Les liaisons de longue distance, interurbaines, étaient alors impossibles. :

En 1894 Mihajlo Idvorski Pupin inventa une technologie qui permit de limiter l'affaiblissement des conversations vocales sur de longues distances, par le biais de bobines de charge insérées à intervalles réguliers tous les 1830 mètres sur les liaisons de transmissions.

Ces bobines ont été familièrement désignées par le terme '**Pupin**'.

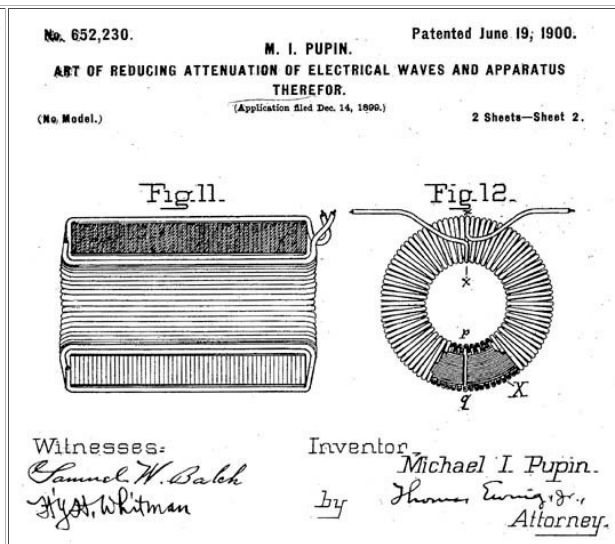
Grâce à ces bobines, l'affaiblissement restait identique dans la gamme de fréquences de la voix téléphonique. Il était alors possible de faire des communications longue distance sans passer par des éléments actifs.

Bien que la gloire et tous les avantages matériels provenant de l'acquisition du brevet en 1899 par **AT&T**, il revinrent à Pupin,

L'utilisation de bobines en série sur les câbles de communication avait été développée par George Ashley Campbell, à partir d'un article de Oliver Heaviside (1887).

AT&T préféra acquérir le brevet de Pupin plutôt que de risquer de ne pas bénéficier de la protection d'un brevet du tout en cas de procès.

[Document à lire pour plus de détails](#)



Heaviside : Le concept de bobines de charge a été découvert par Oliver Heaviside en étudiant le problème de la lenteur de la vitesse de signalisation du premier câble télégraphique transatlantique dans les années 1860. Il en a conclu qu'une inductance supplémentaire était nécessaire pour éviter la distorsion de l'amplitude et du délai du signal transmis .

L'affaiblissement d'une paire est d'autant plus élevé que la self-induction linéique est plus élevée, on peut la réduire :

1 – soit de façon continue, en enroulant autour de chaque conducteur de cuivre un fil ou un méplat en fer doux à spires jointives, c'est le câble **Krarup**, du nom du physicien danois qui en est à l'origine, des câbles de cette technique ont été posés en France sur de courtes distances et pour desservir les îles, cette technique étant mieux adaptée à la pose en mer que la pupinisation.

John S. Stone a travaillé pour l'American Telephone & Telegraph Company (AT&T) et a été le premier à tenter d'appliquer les idées de **Heaviside** aux télécommunications réelles. L'idée de Stone (1896) était d'utiliser un câble bi-métallique fer-cuivre qu'il avait breveté. Ce câble de Stone augmenterait l'inductance de la ligne en raison de la teneur en fer et avait le potentiel de satisfaire à la condition de Heaviside. Cependant, Stone a quitté la société en 1899 et l'idée n'a jamais été mise en œuvre. Le câble de Stone était un exemple de charge continue, un principe qui a finalement été mis en pratique sous d'autres formes, voir par exemple le câble de Krarup ci-dessous :

Le câble Krarup est une méthode de chargement des lignes pour réduire leur distorsion. Toutes les méthodes pratiques de chargement ajoutent une inductance série au câble pour tenter de respecter la condition Heaviside d'absence de distorsion du signal. Le câble Krarup est constitué de fils de fer enroulés étroitement autour des âmes conductrices en cuivre et c'est le fer qui est la source de l'inductance supplémentaire. Cependant, il ne possède toujours pas une inductance suffisante pour répondre pleinement à la condition **Heaviside**.

Sa construction le rend également coûteux par rapport à la méthode existante consistant à ajouter des bobines de chargement discrètes à intervalles le long du câble. Par contre, le câble Krarup est plus léger et plus facile à poser. Le poids des premiers câbles sous-marins utilisant des bobines de chargement pouvait provoquer des contraintes excessives sur le câble s'il n'était pas manipulé avec soin. De plus, le câble Krarup ne présente aucun des problèmes d'étanchéité des joints à l'eau de mer, ce qui constituait un

problème majeur lors du chargement des bobines avant que les polymères modernes ne commencent à être utilisés. Pour ces raisons, le câble Krarup était populaire sur des distances plus courtes, où la distorsion n'était pas si élevée qu'il fallait utiliser des bobines de chargement, jusqu'à ce que l'avènement du câble en permalloy le remplace. Le premier câble posé avec le câble Krarup, en fait le premier câble posé avec un quelconque type de charge continue, était entre Helsingør (Danemark) et Helsingborg (Suède) en 1902. Ce câble a été conçu par Krarup lui-même.

Signalons de plus que des câbles côtiers *krarupisés* ont encore été posés par les Allemands au cours de la dernière guerre, par exemple entre la côte et Belle-Île.

2 -- soit de façon discontinue en insérant des bobines (*) de faible résistance à des distances les unes des autres suffisamment petites devant la longueur d'ondes des signaux à transmettre, les bobines Pupin, du nom du physicien tchèque-américain qui a mis cette technique au point ; c'est cette technique qui, généralisée aux États-Unis dès 1910, a été retenue en France.

(* Initialement les noyaux étaient réalisés en fils de fer puis de ferrosilicate bobinés, puis on utilisa de la poudre de fer noyée dans un isolant. Après 1948, apparaîtra de la poudre d'alliage de fer puis des ferrites ferromagnétiques en 1950. Cette évolution entraînera bien entendu des diminutions de volume significatives) .

Le circuit ainsi équipé se comporte comme un filtre passe-bas ; la fréquence de coupure et la vitesse de propagation des signaux se réduisent lorsque l'on augmente la valeur des selfs rajoutées. Le tableau suivant donne pour les charges courantes, la fréquence de coupure, la distance entre pots de bobines retenue internationalement est 1 830 m repérée par H, les valeurs indiquées sont celles du circuit combinant puis du circuit combiné.

- 177/63 mH 2850/3700 Hz ;

- 88/36 mH 5700/6800 Hz ;

- 44/18 mH 5700/6800 Hz ;

- 22/9 mH 8000/9800 Hz.

La charge 177/63 a été relativement rapidement abandonnée pour la charge 88/36.

Les valeurs retenues en France permettent d'avoir le même affaiblissement pour les circuits combinants et combinés alors qu'à l'étranger les valeurs retenues 177/107 et 44/25 donnent la même fréquence de coupure pour les deux types de circuits mais avec un affaiblissement plus faible pour les combinés.

Il est aussi utilisé des charges plus faibles pour avoir une bande transmise plus grande, par exemple pour la radiodiffusion de qualité mais le pas retenu est aussi plus faible (indice B pour 915 m).

Information : Georges-Antoine Viard, ingénieur du corps des Postes et Télégraphes à sa sortie de l'école Polytechnique, puis directeur général de LTT, est considéré par ses pairs comme étant à l'origine, par sa détermination, de l'implantation en France des câbles pupinisés .

Alph. DARRAS, Ingénieur - Constructeur

TÉLÉPHONIE A GRANDE DISTANCE

NOUVEAUX POSTES MICROTÉLÉPHONIQUE

BREVETÉ S. G. D. G.

ADOPTÉS SUR LES RÉSEAUX DE L'ÉTAT

POSTES-APPLIQUES - POSTES PORTATIFS - APPAREILS COMBINÉS

MATÉRIEL TÉLÉGRAPHIQUE et TÉLÉPHONIQUE

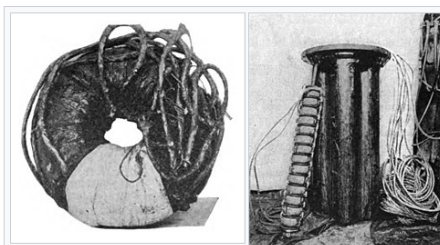
Rappel général système Claude

BREVETÉ S. G. D. G.

POUR LA TÉLÉGRAPHIE ET LA TÉLÉPHONIE

280 POSTES EN SERVICE SUR 5000 KILOMÈTRES

Aux C^{ies} de Chemins de fer P.-L.-M., Paris-Orléans,
le Midi et l'Administration des Chemins de fer de l'État,
à la Ville de Paris (Service des Eaux),
à la C^{ie} Générale des Bateaux-Parisiens et aux Papeteries d'Essonnes



(à gauche) Bobine de charge toroïdale de 0,175 H pour une ligne téléphonique longue distance AT&T de New York à Chicago, 1922. Chacune des 108 paires torsadées du câble nécessitait une bobine. Les bobines étaient enfermées dans un réservoir en acier rempli d'huile (à droite) sur le poteau téléphonique. Le câble nécessitait des bobines de charge tous les 6 000 pieds (1,83 km).

1911 En France, un service chargé exclusivement des câbles souterrains est créé au ministère.

Pour mailler le territoire français, il ne suffit pas que chaque ville ou agglomération constitue son réseau de câbles...

Encore faut-il que toutes les villes de France soient reliées entre-elles par un réseau construit le plus rationnellement possible.

Si la toute première solution fut, au début de l'épopée téléphonique, de poser des liaisons dites aériennes le long des chemins de fer, tel qu'il avait été pratiqué pour le réseau télégraphique, cette solution s'est avérée rapidement saturée et de surcroît techniquement inutilisable pour les liaisons à très grande distance destinées à transporter les signaux électriques analogiques de la parole : au delà d'une certaine distance, l'on n'entendait plus que les parasites et les courants telluriques...

La solution adoptée pour les liaisons interurbaines fut la pose de câbles sous enveloppe de plomb, qui étaient enfouis sous la terre.

Pour pouvoir acheminer les communications à travers tout le pays, il est nécessaire de construire un réseau de câbles téléphoniques chargés de connecter les commutateurs téléphoniques entre eux. Ce fut donc la course pour multiplier les câbles de transmissions sur tout le territoire, "ouvrir les liaisons" entre les villes, avec toutes les difficultés matérielles et financières que cela comportait.

Ce service a procédé, avant la guerre de 1914, à la pose des premiers câbles téléphoniques régionaux français *pupinisés* sur des distances encore modestes, Paris - Versailles et Paris - Juvisy, avec du matériel **Western Electric** mais avec une vue sur l'avenir, comme le montre la composition du câble Paris - Versailles à 56 paires : 28 avec des conducteurs de 1 mm destinées aux liaisons de Paris à Versailles, 28 avec des conducteurs de 1,4 mm, amorces de circuits sur la ligne Paris - Brest, 14 avec des conducteurs de 1,5 mm, amorces de circuits plus longs.

Pour les premiers câbles les bobines pupins et les répéteurs étaient importés de la Western Electric.

Pendant la guerre, l'étude d'un câble Paris - Lille a été mise au point en 1917.

Étudié dans le détail, en collaboration entre l'Administration et la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques (SACM), il s'agissait d'un câble à charges lourdes dont les conducteurs avaient 2,5 mm de diamètre ; la guerre a arrêté ce projet.

Ainsi donc, pour poser ces câbles interurbains, l'on utilise des Trancheuses.



Les câbles souterrains à grande distance de 1919 à 1939 :

Les communications vers Lille d'une part, Rouen – Le Havre d'autre part, ont toujours été privilégiées car ces villes sont les plus proches de Paris, parmi les villes économiquement importantes, et que les terrains se prêtent à des travaux faciles. Il faut cependant souligner que, en réponse au député Pierre Robert, l'Administration a indiqué que, si le câble Paris – Strasbourg a été inscrit en tête du programme et sera souterrain (en particulier en raison d'un avis du comité supérieur de la Défense Nationale), le choix entre souterrain et aérien pour les câbles Paris – Amiens avec embranchements vers Lille – Roubaix et Paris – Rouen – Le Havre qui venaient ensuite, n'était pas encore fait et qu'il serait tenu compte des conditions techniques et financières. Heureusement la pose en souterrain fut ultérieurement retenue et généralisée.

Le réseau téléphonique à la fin des hostilités était à remettre en état, suite aux destructions d'une part, mais aussi et surtout par le fait que la politique menée avant la guerre n'avait pas permis d'avoir un réseau cohérent.

Les premières fournitures des sociétés créées à la suggestion de l'Administration ont été :

1 - **pour LTT** (société des Lignes Télégraphiques et Téléphoniques), le câble Paris – Strasbourg (la fabrication extrêmement soignée de ce premier câble, dont la qualité électrique dépassait sensiblement le cahier des charges, en fit un grand succès. Pour les prestations en nature câble et accessoires, il n'y eut pas de droits de douane à payer mais, par contre, l'Administration a dû payer la taxe à l'importation). Puis le câble Paris – Boulogne et Paris – Lyon, fabriqués à partir de 1924 dans de bonnes conditions ;

2 - **pour la SELT** (Société d'Etudes pour les Liaisons Téléphoniques), entre **1921 et 1928**, les liaisons Paris – Sainte-Assise, Lyon – Saint-Étienne, Paris – Rouen – Le Havre (210 km commandés en mai 1924), Paris – Lille (230 km commandés en février 1925) et Paris – Juvisy. Ces câbles ont été fournis dans de très mauvaises conditions : beaucoup de déchets en câbleries, équilibrage laborieux sur les chantiers pour des résultats techniques médiocres.

Signalons que le câble Paris – Bordeaux (livré entièrement plombé) a été fourni par Siemens au titre des dommages de guerre.

La SELT regroupe la SIT (Société Industrielle des Téléphones), la SACM (Société Alsacienne de Constructions Mécaniques) et les établissements GRAMMONT. La coopération se limite aux études 1923

Dès le lendemain de la première guerre mondiale, les premiers amplificateurs analogiques stables à tubes électroniques, issus de l'invention de la triode par M. Lee De Forest en 1906 furent déployés sur le réseau de transmissions pour accroître la portée des liaisons téléphoniques de transmissions. Il s'agissait d'appareils fragiles qui nécessitaient une surveillance régulière et un entretien continu. Ils étaient disposés à intervalles de 70 Km. La première liaison interurbaine téléphonique à grande distance (interurbain manuel), entre Paris et Strasbourg, est commandée le 7 septembre 1923 (date de notification du marché). Le but de l'existence du câble Paris-Strasbourg est alors, au lendemain de la Première Guerre Mondiale, de rattacher téléphoniquement de manière efficace l'Alsace-Lorraine de nouveau réintégrée dans la Nation Française.

Le câble Paris-Strasbourg mis en construction du câble dès Septembre 1923 par la **LTT**, une filiale entre autres de la société **LMT**, la liaison est livrée en ordre de marche le 1er avril 1926 à l'Administration des PTT,

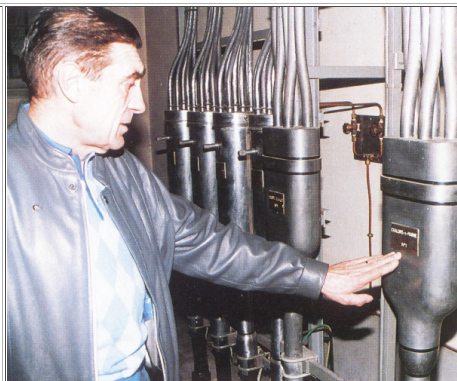
Ouverture officielle à l'exploitation le 9 août 1926.

À Paris, l'extrémité de ce câble est implantée dans le central de la rue des Archives, le "Cerveau Téléphonique de la France" comme l'on disait jadis.

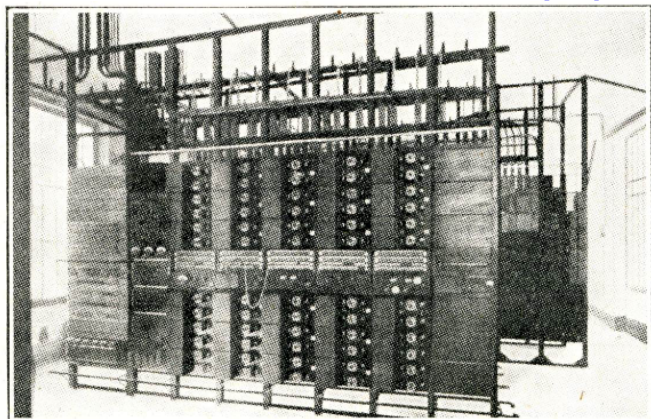
Câble sous enveloppe de plomb, à 94 Quartes Combinables : 28 quartes de conducteurs de 1,3mm et 66 quartes de 0,9 mm.

Le câble Paris-Strasbourg, le premier sur notre territoire, baptisé **LGD 1** (pour Ligne Grande Distance numéro 1) assurera un service continu jusques en Décembre 1994, soit une durée de 67 ans !

Cet illustre câble, sous enveloppe de plomb, de fiabilité supérieure tant il était constitué de plusieurs couches protectrices qui lui permirent de traverser 7 décennies sans trop de problèmes, est remplacé par une fibre optique en modulation numérique synchrone.



Retrouvez ici une série d'articles de [1929 concernant les Liaisons Téléphoniques Grande Distance - de la Revue LMT.](#)



Salle des répéteurs

Aussi bien pour la SELT que pour les premiers câbles fournis par LTT (travaillant sous le contrôle de la Western Electric), l'Administration ne pouvait avoir accès qu'au contrôle final, les procédés, méthodes et moyens de production étant maintenus secrets par les fournisseurs, ce qui n'était pas sans poser des problèmes.

La mauvaise qualité des fournitures de la SELT inquiète très fortement l'Administration qui lui alloue cependant en 1928 les « câbles de la dernière chance » : Bordeaux – Toulouse, Tours – Nantes et Angoulême – Limoges. Malgré des efforts de la SIT, les résultats ne sont pas bons, sauf pour les fournitures de Grammont. D'où l'échec de la

SELT.

En 1927, en effet, au sein de Grammont, une petite équipe d'ingénieurs a relevé le défi et met au point une spécification de fabrication du câble complète et précise. La fabrication du câble Angoulême-Limoges est réalisée dans de bonnes conditions. Malheureusement la crise de 1929 arrive et Grammont est contraint à vendre sa câblerie de Pont-de-Chéruy aux Tréfileries et Laminiers du Havre qui y arrêtent la production de câbles à grande distance.

En 1927 Le premier câble téléphonique sous-marin entre la France et l'Angleterre fut posé par le Post-Office, le contrat du deuxième, sous responsabilité française, a été à Siemens et Halske dans le cadre des dommages de guerre, prestations en nature (contrat homologué en novembre 1929). Ces 2 câbles étaient à frais communs entre la France et l'Angleterre.

En 1929, le câble Paris – Boulogne est confié à la LTT, Paris – Le Havre à la SELT. Les répéteurs et les bobines Pupin sont maintenant fabriqués en France, toujours sous brevets américains pour LTT (ultérieurement ce constructeur fabriquera les répéteurs avec des techniques d'inspiration Siemens) et General Electric pour la SELT.

L'administration, qui a confiance dans l'équipe qui a ainsi réussi, confie à Grammont les câbles Le Mans – Rennes et Le Mans – Angers, à condition que cette équipe en ait la responsabilité totale et qu'elle puisse disposer des moyens financiers et de production nécessaires. La solution trouvée est de créer une nouvelle société dans laquelle Grammont apporte ses connaissances et son savoir-faire et l'autre partenaire, la Compagnie des Signaux et d'Entreprises Electriques, les finances et la câblerie que cette dernière possède à Riom.

Le protocole d'accord est signé le 9 décembre 1931 ; il est suivi deux mois après de la création de la *Société d'Applications Téléphoniques*, la **SAT**. Le marché promis par les PTT avait été notifié le 23 juillet 1931 pour la fourniture, la pose et le raccordement du câble, la fourniture des équipements et la mise en service des liaisons.

Fabriqués à partir de février 1932 et livrés en septembre 1934, ces liaisons ont donné satisfaction aux PTT qui continuaient à passer des commandes, mais suite aux graves difficultés financières de Grammont qui entraînaient des manques de matières premières et des avances sur salaires pour les cadres, la **SAGEM** (*Société d'Application Générale d'Électricité et de Mécanique*) a repris la participation de celle-ci. La SAT est devenue la **SAT**, *Société Anonyme de Télécommunication*.

En 1937, le service des **Lignes Souterraines à Grande Distance** (LSGD), qui le 29 septembre 1926 avait succédé au service cité précédemment, a suffisamment de savoir-faire pour normaliser le matériel qu'il utilise selon ses propres spécifications. Les **LSGD**, sont devenus par la suite les **LGD** (lignes à grande distance) à l'apparition de l'hertzien.

À la naissance du service, les câbles étaient fort menacés par les courants vagabonds circulant dans le sol : dans toutes les grandes villes (Paris, Toulouse, Lyon, Nantes...) des réseaux de tramways à courant continu existaient qui induisaient le percement des câbles souterrains proches par des cratères d'électrolyse ; les vibrations produites par les camions sur les routes ou les ouvrages d'art arrivaient parfois à provoquer la cristallisation du plomb des enveloppes de câbles ou l'apparition de fissures ; des insectes et des rongeurs s'attaquaient aux câbles, en particulier dans les conduites. (Avant 1928, les enveloppes étaient en plomb pur sauf pour le Paris – Strasbourg (3 % d'étain), ce qui les rendait très sensibles à ce phénomène. On utilisera ensuite un alliage plomb-antimoine (1 % à 3 %) puis, après 1941, un alliage ternaire plomb-antimoine-cuivre.)

Signalons à ce sujet qu'ont été retirés du service en 1927 :

- le câble Boulogne – Audresselles (partie d'une liaison avec l'Angleterre), 7 quarts krarupisés, sous plomb nu, tiré en conduite, long de 15 km, après seize ans de service, pour corrosion par électrolyse ;
- le câble Lyon – Saint-Étienne 1, posé en terrain minier, la plus grande partie sous la bande de roulement d'une route nationale, long de 65 km, après vingt-quatre ans et cinq mois de service, pour cristallisation ;
- les termites ont dévoré sur plusieurs mètres la dérivation vers Luçon du câble La Roche-sur-Yon – La Rochelle.

Le câble Paris – Sainte-Assise (SELT), posé en 1921-1922, destiné à assurer les liaisons télégraphiques avec les émetteurs de Sainte-Assise et les communications de service sur une distance de 50 km est en majeure partie en aérien, avec câble porteur en acier. Il comporte 7 quarts : les circuits réels, prévus pour la téléphonie, étaient pupinisés avec une charge de 0,12 mH tous les 3 km, les circuits fantômes, non chargés, étaient prévus pour la télégraphie. Cependant, une des quarts a été réservée uniquement à la téléphonie, elle a été chargée avec 4 bobines unifilaires égales donnant pour les circuits réels une charge de 120 mH et pour le fantôme une charge de 60 mH.

Le câble Lyon – Saint-Étienne est l'ancêtre des câbles à grande distance français. Il a été remplacé par un câble commandé à la SELT en 1923 et livré en mars 1925. Souterrain, sous plomb, armé de 2 feuillets de 1 mm enroulés en sens contraire ; il est posé en pleine terre à 80 cm de profondeur mais traverse les villes dans des dalles multitubulaires ou sous la protection de grillage ou de briques. Long de 62,5 km, il comporte 19 quarts de fils de 1 mm équipés de bobines de charges de 177 mH pour les circuits réels et de 104 mH pour les fantômes (comme sur le câble Paris – Sainte-Assise, une quart était cependant équipée de charge unifilaire).

Le câble Paris – Rouen – Le Havre comporte 81 quarts (50 en conducteurs de 1 mm, et 31, couche extérieure, en conducteurs de 0,9 mm) de Paris à Rouen et 62 (49 en fils de 1 mm, 12 en fils de 0,9 mm) entre Rouen et Le Havre. Les stations relais, tenant compte du tracé (route nationale Paris – Rouen par Pontoise et Magny, Rouen – Le Havre par le chemin de grande communication qui longe la Seine, par Duclair, Caudebec et Lillebonne) sont situées à Saint-Clair-sur-Epte pour tous les circuits Paris – Rouen et Paris – Le Havre et à Duclair seulement pour les circuits Paris – Le Havre. La couche des quarts en 0,9 mm a été divisée en 4 groupes d'équilibrage : 2 opposées pour les circuits 4 fils, une par sens, les deux autres pour les circuits 2 fils. Les bobines de charges étaient les mêmes que pour le Lyon – Saint-Étienne sans charges unifilaires. Il a été mis en service progressivement entre fin 1926 et 1927.

Aussi, en 1928, après une période d'entretien des premiers câbles par les sociétés qui les avaient construits (ce qui a permis au personnel des PTT de se former sur le tas, car les moyens du petit laboratoire d'État existant, le SERT, créé en 1912, lié à l'École Supérieure des P et T, étaient trop insuffisants), les premières équipes spécialisées ont pu être créées à Paris (En plus des câbles à grande distance, le Service des LGD doit assurer la surveillance des travaux neufs et le contrôle des petits câbles, câbles régionaux, krarupisés ou pupinisés).

Elles sont au nombre de 4 et doivent assurer la relève des dérangements des câbles Paris – Sélestat – Strasbourg – Bâle, Paris – Le Havre, Paris – Lille et Paris – Boulogne. L'année suivante s'ajoutent Paris – Marseille et Paris – Bordeaux. Les lieux de dérangement, que des méthodes de mesures électriques et/ou pneumatiques permettent de localiser, peuvent donc être éloignés de Paris et, comme les véhicules automobiles dont les

équipes sont dotées sont trop légers pour entreprendre de longs voyages, c'est en train qu'il faut que le personnel se rende sur le site du défaut pour intervenir.

Vu ces inconvénients et le développement du réseau, des centres chargés de la maintenance des câbles sont créés, en 1930 à Lyon,

Nancy et Bordeaux, en 1934 à Toulouse, en 1938 à Lille, puis arrive la guerre.

En 1937 les équipes d'intervention sont au nombre de 12. Bien entendu des emplois sont créés en conséquence.



Carte des câbles téléphoniques Liaisons Grande Distance en Février 1939 .

1939 Voici, par exemple, le nombre de défauts et leur répartition en gravité d'une part, en causes techniques d'autre part, pour l'année : pour 10 193 km de câbles sont apparus 103 défauts dont 90 à faible gravité (moins de 15 % de quarts touchés, 4 à forte gravité (15 % à 90 %) et 9 avec interruption totale. 40 étaient des défauts de fabrication ou de mise en place, 38 des accidents (coups de pioche, etc.), 5 avaient pour cause l'électrolyse, 5 la cristallisation, 2 la foudre et 13 étaient classés divers.

Il faut bien voir que ces premiers câbles souterrains formaient déjà un véritable réseau international français, centré sur Paris et permettant de joindre :

- ° par le Paris – Boulogne : l'Angleterre ;
- ° par le Paris – Lille : la Belgique et les Pays-Bas ;
- ° par le Paris – Nancy – Sélestat – Strasbourg :
- 1- antenne Nancy – Metz – Thionville : le Luxembourg,
- 2- antenne Sélestat – Bâle : la Suisse,
- 3- à partir de Strasbourg : l'Allemagne.

Le premier câble mixte PTT-SNCF a été posé entre Trappes et Le Mans en 1936. L'expérience de la proximité d'un câble de transmission avec les caténaires (appels de courant au passage des convois) et de stations de redressement du courant, acquise ici, a permis de développer cette technique après la guerre.

En 1928, **LTT** crée une usine à Maison-Carrée, à côté d'Alger, pour la fabrication et la mise en place du réseau nord-africain, qui sort son premier câble en 1930. Le câble Oran – Alger – Constantine est mis en service en 1929.

La pupinisation limitant la bande transmise ne permet la mise en place de plusieurs voies téléphoniques qu'avec des charges légères. C'est en 1933, sur le câble Dijon – Mulhouse, que furent mises en place pour la première fois de telles charges.

Les débuts du Multiplexage à Répartition de Fréquences (MRF) :

Au fur et à mesure du déploiement du réseau téléphonique interurbain et transfrontalier, il est apparu de plus en plus compliqué et coûteux de maintenir le principe "une paire téléphonique pour une communication téléphonique". Aussi, les recherches se concentrèrent sur la possibilité de pouvoir faire circuler simultanément plusieurs conversations téléphoniques sur une seule paire de cuivre. Nous pouvons aisément imaginer le gain en matières premières et en frais d'installation et d'entretien.

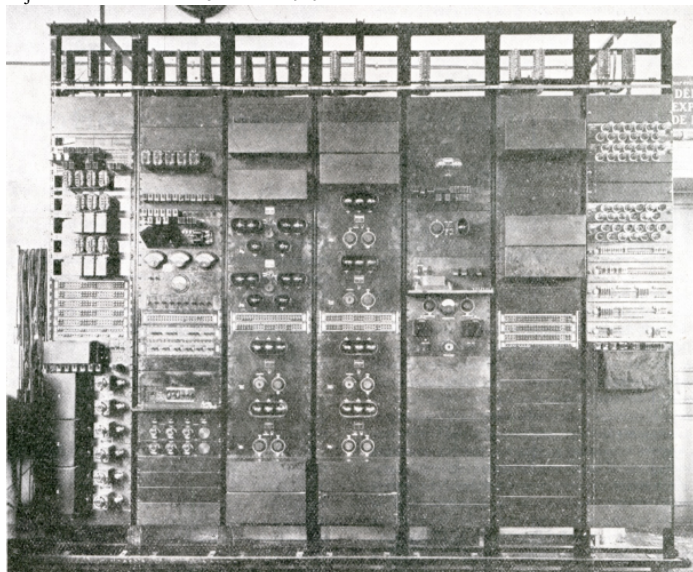
- Dès 1918, aux USA, est inventé le procédé de **Multiplexage Analogique par onde porteuse**.

Désormais sur une liaison de transmission il est possible de transmettre deux conversations téléphoniques simultanément, sans qu'elles se mélangent, grâce à la Répartition en Fréquences.

- La technique des **courants porteurs** est développée dans le très modeste laboratoire de la rue de Grenelle, par l'ingénieur Pierre Marzin en 1931, qui conçoit un procédé de Multiplexage Analogique par onde porteuse que l'on dénommera Système Marzin pouvant transmettre 2 voies téléphoniques simultanément. Puis, les progrès furent continus, on parvint à faire passer ultérieurement 3 puis 6 conversations téléphoniques simultanées sur la même liaison métallique de deux fils à partir de 1942 (Système CNET) et plus encore par la suite...

Dans le monde, le premier système à courants porteurs à 3 voies téléphoniques modulées est mis en service entre Londres et Madrid (avec stations intermédiaires à Versailles, Saumur, Saintes, Bordeaux, Saint-Sébastien et Saragosse) le 8 juin 1928.

En France, les 2 premiers systèmes à courants porteurs à 3 voies sont mis en service (fournis par la société **LMT**) pour les communications interurbaines : le 5 août 1929 entre Dijon et Annemasse et le 5 octobre 1929 entre Marseille et Nice.



Vue d'ensemble d'un imposant équipement terminal d'un système à courants porteurs à 3 voies, à Paris.

En haut, à droite sur la baie la plus à droite, nous distinguons 8 rangées de tubes électroniques à effet thermoionique, utilisés pour l'amplification, la modulation et la démodulation des signaux téléphoniques transmis.

Ces systèmes 3 voies simultanées seront modernisés après la seconde guerre mondiale et permettront le passage de 6, puis 12 voies téléphoniques simultanées au lieu de 3.

- Il fut inventé également le principe du circuit fantôme qui consista, avec deux liaisons, à créer une troisième voie, la voie fantôme : c'est à dire qu'avec deux liaisons métalliques de transmissions, nous pouvions désormais transmettre 1 voie téléphonique supplémentaire portée entre les deux liaisons métalliques, ce qui permettait d'augmenter sensiblement le nombre de voies de transmissions avec le même nombre de liaisons métalliques installées...

Ce **Multiplexage** ne fut réellement appliquée qu'en 1940-1941 (La qualité des câbles posés a permis, en retirant les bobines pupins (la dépupinisation), d'utiliser un ce nombre de quarts, variable suivant les câbles, pour des circuits à courants porteurs ou, ultérieurement, pour des **MIC** (transmission à Modulation par Impulsions et Codage ou Modulation par Impulsions Codées), car à partir des années 1950 après l'invention du transistor en 1948 et avec la miniaturisation des composants électroniques, il est alors devenu possible de commencer à mettre en application une invention Française de 1937 : la Modulation par Impulsion et Codage, couramment appelée **MIC**. Elle permet de transporter facilement les conversations sur de longues distances sans affaiblissement ni altération.

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.

Ce n'est qu'en **avril 1939** que fut commencée la pose du premier câble véritablement pour hautes fréquences, suite à la décision de l'Administration de prévoir pour les câbles inscrits au programme des circuits non chargés, destinés à la transmission simultanée de 12 communications téléphoniques.

C'est le câble Paris – Calais qui se poursuit sur Londres par câble sous-marin. Sa pose ne se termina qu'au cours de l'été 1941, par suite des hostilités. C'est le premier en France à être équipé des systèmes à 12 voies (12-60 kHz), les deux sens dans le même câble. Mais, pour éviter la paradiaphonie, ils sont séparés par un écran, dit « en plomb » dans certains documents, qui, en fait, est composé de rubans multiples de cuivre et d'acier (Un ruban de cuivre, 2 feuillards d'acier, 1 ruban de cuivre, 2 feuillards d'acier, 1 ruban de cuivre)

L'utilisation d'un câble par sens a ultérieurement été préférée pour des raisons économiques.

Sa composition était variable le long de son trajet, mais chaque tronçon comportait deux groupes de 8 quarts étoile, séparés par l'écran, destinées à la transmission des systèmes 12 voies formées de conducteurs de 1,3 mm de diamètre, 4 paires radio de 1,4 mm et 3 quarts combinables de 1 mm. Des quarts combinables pupinisés, en nombre variable, à conducteurs normalisés de 0,9 mm de diamètre complétaient le câble (8 entre Paris et Clermont dans l'Oise, 16 entre Clermont de Saint-Pol-sur-Ternoise).

Il est prolongé vers l'Angleterre à partir de Sangatte (15 km à l'ouest de Calais), par un câble sous-marin dont l'âme est de technique identique à celle d'un câble terrestre, mais avec un renforcement de l'enveloppe en plomb et son recouvrement par une gaine en caoutchouc avant l'application de l'armure sous-marine. Le câble Calais – Saint-Margaret (dénomination du câble sous-marin) est le dernier de cette technique, il contenait 7 quarts, capables chacune de supporter un 12 voies, et 16 paires. Il était de fabrication française (usine de Calais des Câbles de Lyon). Ces 2 câbles étaient à frais communs entre la France et l'Angleterre.) . Il a été en service jusque dans les années 60.

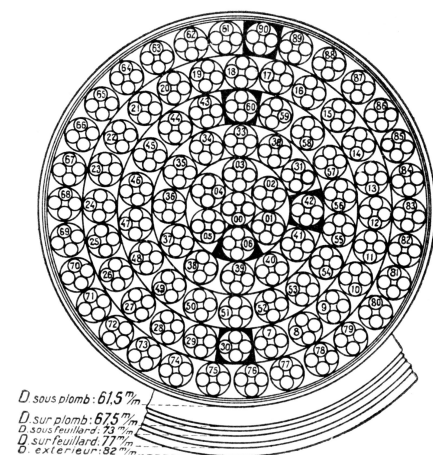
Les signaux basse fréquence doivent y être amplifiés tous les 60 km alors que pour les circuits 12 voies, l'amplification était nécessaire tous les 30 km. Il a donc été décidé d'utiliser deux types de centre d'amplification : tous les 60 km sera mis en place un centre principal et entre deux de ceux-ci sera placé un centre intermédiaire, n'amplifiant que les circuits 12 voies.

En France, les centres principaux sont, à partir de Paris, situés à Clermont, Amiens, Lillers et Calais, les centres intermédiaires à Luzarches, Vandeult Caply, Beauval et Saint-Pol, Tilques (un peu après Saint-Omer) et Sangatte. Entre Amiens et Lillers, il a été placé deux centres intermédiaires pour tenir l'écartement d'environ 30 km, l'amplification des autres circuits le permettant (valeur nominale de la distance d'amplification, 75 km).

En 1940, le câble Paris – Calais était terminé, ses stations principales et intermédiaires étaient construites mais il n'était pas encore équipé de ses installations 12 voies. Il était exploité en basses-fréquences de Paris à Amiens.

Il faut aussi noter que les besoins militaires ont joué un rôle important dans la mise en souterrain du réseau à grande distance. C'est en 1934 que l'on commença les travaux d'adaptation du réseau à une situation de guerre, car les besoins de la clientèle, seuls retenus, n'étaient pas spécialement exposée.

Des stations de répéteurs protégées et, même, des câbles spéciaux en rocade furent posés, c'est le cas de Nancy (la station de répéteurs y fut même déplacée), Metz, Lyon, Marseille.



COUPE DU CÂBLE DE LYON A MARSEILLE

Signalons à ce sujet, la station de Paris-Saint-Amand (*), avec ses centraux téléphoniques associés, à l'époque de sa mise en service (1939) était unique au monde militaire. Malgré cette création, en ce qui concerne l'exploitation civile, les circuits passent toujours en coupure à Archives où est situé l'unique interurbain.

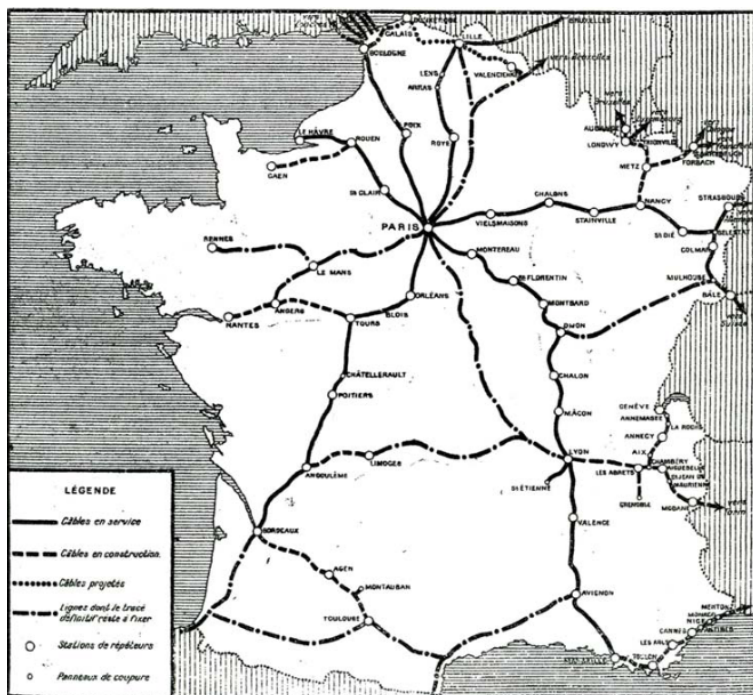
En accord avec le ministère de la Guerre et dans certains cas avec l'aide de ses crédits, des travaux de doublement de certaines liaisons et l'établissement de rocades furent entrepris, en particulier dans l'Est et le Nord de la France, par exemple le câble Paris – Metz qui n'était pas économiquement justifié et, pour les mêmes besoins, de nombreuses poses ont été réalisées pendant la drôle de guerre, comme l'indique par exemple Robert Chapuis, en ce qui concerne la Normandie. Par ailleurs, lorsqu'une ville était considérée comme stratégique, une deuxième déserte était prévue.

* La répartition des câbles entre Paris-Archives et Paris-Saint-Amand est :

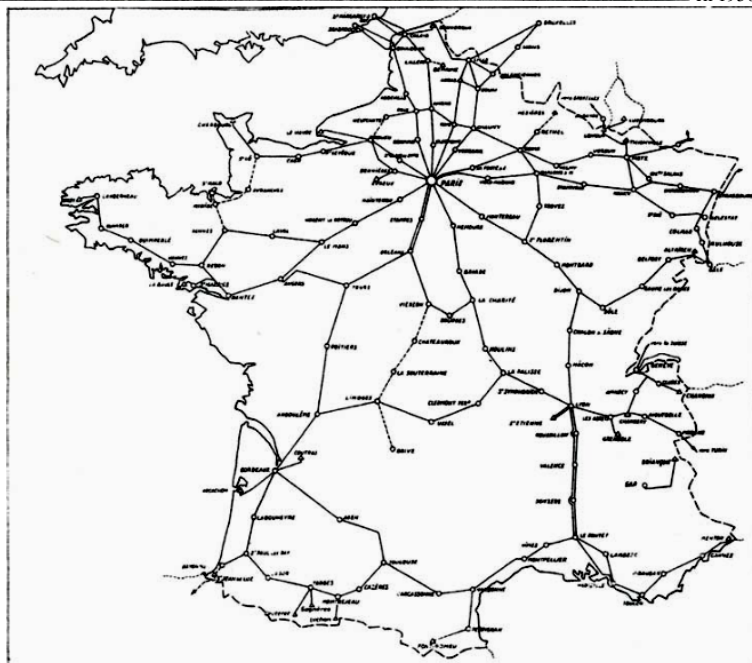
° Paris-Archives : Rouen 1 – Le Havre, Boulogne – Calais, Lille 1 (par Roye), Lille 2 (par Chauny), Nancy – Strasbourg, Lyon 1 (par Dijon), Lyon 2 (par Moulins), Tours – Nantes – Bordeaux, liaisons avec les stations radio (Pontoise, émission, Noisseau, réception) ;

° Paris-Saint-Amand : Amiens – Calais, Metz, Limoges – Toulouse, Le Mans – Rennes, Rouen 2 – Caen .

La première carte donne la situation du réseau de câbles à grande distance existant ou en construction en 1930 et la deuxième l'état des câbles en juin 1940.



en 1930



en 1940

Dans l'annexe 3 sont indiquées les câbles à grande distance dont la construction a été entreprise entre les deux guerres mondiales.

Cas particulier : en 1934, des câbles spéciaux ont été construits pour assurer les liaisons studio-émetteurs de radiodiffusion. Ils étaient composés de 7 paires à faible capacité sous écran individuel. Vu leur faible impédance, les capacités magnétiques n'étant pas négligeables, la SAT (Société Anonyme des Télécommunications) a reconnu la première la nécessité d'équilibrer les couplages entre paires.

Liste des câbles à grande distance dont la construction a été entreprise avant 1940 :

1924	Paris – Strasbourg
1925	Paris – Le Havre
1926	Paris – Boulogne et Paris – Lille 1
1927	Paris – Bruxelles et Sélestat – Bâle
1928	Paris – Châlons-sur-Saône
1929	Châlons-sur-Saône – Marseille et Paris – Bordeaux 1
1930	Tours – Nantes, Angoulême – Limoges et Marseille – Menton
1931	Bordeaux – Toulouse, Metz – Longwy – Luxembourg et Sarrebruck, Lyon – Grenoble – Genève et Modane, Rouen – Caen et Lille – Dunkerque
1932	Bordeaux – Hendaye
1933	Paris – Lyon 2, Paris – Lille 2, Paris – Le Mans, Valenciennes-frontière belge, Lapalisse – Clermont-Ferrand, Toulouse – Dax et Le Mans – Rennes – Angers
1934	Toulouse – Avignon et Perpignan, Dijon – Mulhouse et Boulogne – Calais – Dunkerque
1935	Lyon – Le Pontet 2, Le Pontet – Marseille 2 et Modane-frontière italienne
1936	Bordeaux – Lesparre, Bordeaux – Arcachon, Clermont-Ferrand – Limoges, Trappes – Le Mans, Perpignan – Prades et Altkirch – Bâle
1937	Paris – Metz, Paris – Rouen 2, Chauny-Châlons-sur-Marne et Gap – Briançon
1938	Paris – Limoges ⁽¹⁾⁽²⁾ , Vierzon – La Charité, Nantes – Saint-Nazaire, Châlons-sur-Marne – Troyes et Roye – Chauny
1939	Nantes – Redon – Vannes, Nancy – Metz – Strasbourg et Troyes – Saint-Florentin
1940	Vannes – Brest, Roye – Amiens – Poix, Rouen – Caen – Cherbourg, Reims – Mézières et Saint-Lô – Rennes – Saint-Malo

(1) Il s'agit du premier tronçon du câble coaxial Paris – Bordeaux – Toulouse.

(2) Il faut ajouter le tronçon coaxial Bordeaux – Coutras

Le budget annexe et le début de la politique industrielle dans le domaine des câbles à grande distance.

En 1910, Ch. Dumont, rapporteur du budget, préconise la séparation du budget général pour permettre d'emprunter de façon moins archaïque que les avances remboursables avec la tenue de comptes d'exploitation sur le modèle industriel, l'octroi de crédits supplémentaires et la préparation de plans d'équipement avec comme unique suite la création d'un directeur de l'exploitation téléphonique (c'est la première fois que le mot téléphone apparaît à un niveau élevé dans l'Administration).

Les besoins financiers pour l'équipement d'un véritable réseau téléphonique à un moment où il y a pléthore de mini-réseaux au niveau local avec des liens entre eux très notoirement insuffisants ne peuvent être résolus dans le cadre du budget de l'état. *(Le système des avances remboursables, accompagné d'un manque de crédits au niveau national, a conduit à la prolifération de mini-réseaux, avec des liens entre eux trop lâches si ce n'est inexistant, au détriment des liaisons à grande distance et d'un réseau national.)*

Alors que, suite à la guerre, les besoins de reconstructions et de constructions nouvelles sont énormes, les crédits d'investissement de 151 millions en 1920, passent à 88 millions en 1921 et à 67 millions en 1922 ! Par contre, le service téléphonique verse ses recettes au budget de l'état, ce qui le transforme en système fiscal.

Les besoins en investissements pour le téléphone ne sont cependant pas inconnus, comme le montre un projet de budget pour ces besoins présenté à l'Assemblée nationale le 12 juillet 1914, mais la guerre empêche sa réalisation prévue sur cinq ans. Il a été représenté de nouveau le 28 mai 1920 sans succès.

Un rapport au ministre et un projet de loi préconisent en 1921 la privatisation des PTT, sans succès. Il y est prévu que le budget des PTT devienne autonome et que sa gestion suive une logique plus industrielle, mais son application ne sera pas immédiate et ce ne sera que l'article 70 de la loi de finances du 30 juin 1923 (avec effet au 1^{er} janvier de la même année) qui instituera un budget annexe comprenant deux sections : recettes et dépenses d'exploitation ; dépenses de premier établissement et ressources affectées à cette dépense.

Ce budget, qui doit assurer l'autofinancement des services reste cependant sous le contrôle strict des finances, par exemple par l'autorisation des emprunts (article 75 de cette même loi) pour lesquels les possibilités de placement sont limitées et doivent couvrir tous les besoins de l'état.

La politique industrielle des PTT à la suite de cette loi peut se résumer comme suit :

- ° disposer d'urgence de moyens de production sur le territoire national, sans écarter à priori les fournisseurs travaillant sous licences étrangères ;
- ° à plus long terme, promouvoir les techniques d'origine française ;
- ° participer sur un plan d'égalité à l'élaboration des règles d'interconnexion des réseaux nationaux au sein du **Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique** (CCI à ses débuts, devenu ultérieurement **CCITT**) ;
- ° ne pas négliger l'exportation, donc disposer de matériels ne tombant pas sous le coup de brevets étrangers et capables de rivaliser avec les meilleures productions mondiales en technique et en fiabilité.

(CCITT Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique, dont les trois premières assemblées plénières se sont tenues sur invitation de la France, à Paris, en 1924, 1925 et 1926 sous la présidence de Monsieur Milon, directeur de l'Exploitation Téléphonique en France. Signalons à cette occasion que c'est un Français, Georges Valensi, ingénieur des Postes et Télégraphes, qui a été secrétaire général puis directeur de cette organisation internationale de 1924 à 1956)

Cela a conduit à la création, sur la suggestion de l'Administration qui avait anticipé la loi, des **deux sociétés** suivantes :

1° **LTT** (Lignes Télégraphiques et Téléphoniques), fondée en mars 1920, au capital de 10 millions de francs, par les Tréfileries et Laminoirs du Havre, accompagnés par la Compagnie Générale des Câbles de Lyon, Le Matériel Téléphonique et Les Forges et Ateliers de Constructions électriques de Jeumont (*Société franco-belge*) . Avec l'assistance technique de grande valeur du Bell System américain ;
(Le Matériel Téléphonique *Filiale de l'International Western Electric, tombera dans le giron d'ITT (International Telegraph and Telephone) en même temps que CTH (Compagnie Française Thomson-Houston) en 1925.)*

2° la **SELT**, ou SELTT, totalement française :

SIT, issue de la Compagnie générale des Téléphones qui deviendra ultérieurement **CIT** (Compagnie Industrielle Téléphone), puis CIT-Alcatel, Alcatel enfin **Alcatel-Câbles**, dont la partie câbles était connue sous le nom de Câbles de Lyon, société issue initialement du suisse Cortaillod ,
SACM, Société Alsacienne de Construction Mécaniques, que la CIT absorbera ultérieurement ; Établissements Grammont (*), considérés comme l'ancêtre de la Société Anonyme des Télécommunications.

La SELT avait pour but de répartir les commandes passées par les PTT entre les trois sociétés fondatrices : câbles (les trois), bobines de charges (SACM), amplificateurs (SIT et Grammont), de créer un laboratoire d'étude pour assurer l'assistance technique à la fabrication et de se charger des chantiers de pose et de raccordement des câbles.

(En raison de la mauvaise qualité des fournitures de la SELT, qui n'était qu'un organisme d'études et de répartition des fournitures entre ses membres, cette filière a été abandonnée. Cependant l'équipe de Grammont qui avait réussi la fourniture du câble Angoulême-Limoges avait gardé par là-même la confiance de l'Administration. Comme Grammont, à cause de difficultés financières, avait vendu sa câblerie de Pont-de-Chéry aux Tréfileries et Laminoirs du Havre et que ceux-ci, liés dans LTT, avaient décidé d'abandonner la fabrication des câbles à grande distance, il a fallu trouver un industriel comme partenaire de Grammont et son équipe technique. Des accords entre

Grammont et la Compagnie des Signaux et d'Entreprises Électrique (CSEE) avec sa câblerie de Riom, construite en 1921 et qui, outre des câbles électriques, avait une section câbles téléphoniques urbains, ont conduit à la création de la première SAT (alors Société d'Applications Téléphonique). De nouvelles difficultés de Grammont lui ont fait céder sa participation à la SAGEM sous forme de la deuxième SAT (Société Anonyme de Télécommunications), conservant ainsi le même sigle. Ultérieurement, la câblerie de Riom a été supprimée et regroupée à Montereau à la câblerie SILEC dans le cadre de la SAGEM.).

Evolution des circuits téléphoniques à grande distance.

L'un des premiers domaines dans lesquels les valves (Triode, lampe à vide) ont été utilisées était la fabrication de répéteurs téléphoniques, et bien que les performances soient médiocres, elles ont permis d'améliorer considérablement les circuits téléphoniques longue distance.

En Amérique en 1932 : Cette question a fait l'objet d'un rapport de MM. Clark et Osborne (Etats-Unis), dans lequel les auteurs font un intéressant historique de l'installation des câbles téléphoniques aux Etats-Unis, et montrent les étapes successives qui ont conduit à la technique moderne des câbles à grande distance. Les premiers circuits en câbles pupinisés utilisés aux Etats-Unis furent posés en 1902. La distance couverte n'était que de 17 km, entre New York City et Newmark dans le New Jersey. Au cours des années suivantes, la portée des câbles s'accrût et atteignit des distances de l'ordre de 150 km. Ces câbles primitifs ne contenaient que des circuits réels. Ce n'est qu'en 1910 que les problèmes posés par l'utilisation des circuits combinés ou fantômes — notamment en ce qui concerne les phénomènes de diaphonie entraînés par le déséquilibre entre conducteurs furent résolus et permirent la pose d'un câble destiné à relier Boston à Neponset (Massachusetts). L'année 1914 marque le point extrême de l'évolution des câbles chargés à conducteurs de gros diamètre, avec la pose du câble de Boston à Washington couvrant une distance de 724 km.

En janvier 1915, le répéteur téléphonique à tube à vide fut utilisé pour la première fois avec succès, lors de l'inauguration de la ligne téléphonique New York — San Francisco. On chercha à développer ces installations; mais, on ne tarda pas à constater que les circuits à 2 fils munis de répéteurs auraient toujours une portée limitée, en raison des difficultés d'équilibrage des répéteurs et de l'influence marquée des phénomènes de diaphonie dans ces circuits. Aussi fut-on conduit à expérimenter une nouvelle méthode consistant à utiliser des circuits à 4 conducteurs. Cette expérimentation mit en évidence des difficultés d'un autre ordre, notamment celle d'obtenir une courbe d'affaiblissement à peu près uniforme pour toutes les fréquences transmises. Il fallut alors, procéder à des études nouvelles sur la valeur de la charge à donner aux bobines Pupin, étude qui aboutit au système de pupinisation connu sous la désignation abrégée H. 44-25, consistant dans l'introduction tous les 1830 m de bobines de 44 mH. sur les circuits réels et 25 mH. sur les circuits fantômes. D'après les auteurs, ce fut le commencement des circuits modernes en câbles à grande distance en Amérique.

Après cet exposé, MM. Clark et Osborne passent à la spécification des circuits téléphoniques interurbains en câbles, signalant qu'ils se borneront à citer les caractéristiques principales des types de circuits utilisés aux Etats-Unis en s'efforçant d'en justifier le choix. Ils passent ainsi en revue : les constantes du câble interurbain normal utilisé dans le réseau du système Bell; les caractéristiques des circuits réels et des circuits fantômes; les conditions d'utilisation des circuits à 2 et à 4 fils; l'inductance et l'espacement des bobines de charge qui, pour des raisons d'économie, correspondent à des pas de pupinisation respectivement de 915 et de 1830 m — ; l'espacement des répéteurs et des régulateurs automatiques de la transmission — les répéteurs étant placés à une distance aussi voisine que possible de 80 km, les régulateurs automatiques, généralement introduits sur les câbles aériens d'une longueur supérieure à 80 ou 160 km étant disposés de préférence toutes les deux stations de répéteurs . Les auteurs examinent également: les gains de transmission des répéteurs tant en ce qui concerne les circuits à 4 fils que les circuits à 2 conducteurs; la régularité de l'impédance en ce qui concerne l'utilisation des circuits à deux fils et la limitation de la diaphonie, tant à l'émission la plus importante pour les circuits à deux fils qu'à la réception la plus importante pour les circuits à quatre fils. Ils signalent à ce sujet les précautions prises dans la constitution des câbles pour séparer l'un de l'autre le groupe des voies d'aller et le groupe des voies de retour des circuits à 4 fils, à cause des différences relativement importantes entre les niveaux de transmission sur les voies d'aller et de retour. Enfin, ils examinent le problème de 3 a limitation de la distorsion de phase, très importante dans le cas des longs circuits à 4 fils, et à laquelle on peut dans une certaine mesure porter remède par l'utilisation de dispositifs appelés « compensateurs de phases ».

Les auteurs examinent ensuite les caractéristiques de fonctionnement des câbles. Après avoir défini la perte nette minimum de puissance en service et indiqué le rôle qu'elle joue dans la détermination des portées des câbles selon leur spécification, ils étudient, avec courbes à l'appui, les pertes nettes minima de puissance admissibles en service pour des circuits à deux fils et à quatre fils utilisés exclusivement pour le trafic terminal. Suit rémunération des conditions imposées aux caractéristiques techniques des câbles aux Etats-Unis, de manière à permettre l'interconnexion des divers réseaux. Ces conditions, relativement peu différentes de celles qui ont été arrêtées par le Comité consultatif international des communications téléphoniques à grande distance, figurent en même temps que ces dernières au rapport.

L'une des parties les plus intéressantes de l'étude concerne les conditions à imposer à l'avenir aux câbles téléphoniques pour la réalisation des très grandes portées. Les spécifications actuelles permettent de réaliser dans de bonnes conditions des liaisons atteignant 3000 km. Mais, l'expérimentation effectuée sur des longueurs de câble à 4 fils dépassant 6000 km a montré que des modifications devront être apportées aux caractéristiques, si l'on veut établir de bonnes liaisons à des distances de cet ordre ou à des distances supérieures.

Il faudra, en particulier, des supprimeurs d'écho plus efficaces. Les appareils du type ordinaire ne permettent pas, pour des distances de l'ordre de 6000 km, une exploitation convenable avec la perte nette de puissance de 9 décibels qu'il est désirable de réaliser.

En ce qui concerne la distorsion de phases, alors que des compensateurs ne semblent pas nécessaires pour des circuits de l'ordre de 3000 km, il faudra envisager l'utilisation systématique de tels dispositifs lorsque la distance deviendra double.

Le temps de propagation lui-même, dans un circuit à charge légère de 6000 km, prend une importance relativement grande; il devient de l'ordre du quart de seconde dans chaque sens, ce qui est la limite provisoire fixée par le C. C. I. Tph. pour la communication entière. En raison de ce temps de propagation, les supprimeurs d'écho introduisent certains troubles dans l'échange des communications. En supposant, en effet, les supprimeurs d'écho distants de 3000 km, le temps de propagation entre ces dispositifs est de l'ordre du huitième de seconde pour chaque sens de transmission. S'il y a une simultanéité de conversation aux deux extrémités du circuit, les deux supprimeurs d'écho fonctionnent en même temps, bloquant chacun

une voie du circuit, et introduisent, de ce fait, dans la conversation, des trous qui sont appréciables.

Toutes ces considérations montrent que des circuits en câbles meilleurs que les circuits actuels sont nécessaires pour réaliser d'une manière satisfaisante des communications à très grandes distances.

Peut-être faudra-t-il s'adresser au téléphone par courant porteur pour résoudre ce problème, la vitesse de propagation d'un tel courant étant de l'ordre de 160 000 km à la seconde en tenant compte de l'accroissement du temps de propagation dû aux appareils.

Comme conclusion de leur rapport, les auteurs signalent que, bien que le développement de la technique de la téléphonie à grande distance ait été très rapide au cours des derniers vingt ans, il n'est pas exagéré de prévoir pour les vingt ou trente prochaines années des progrès techniques au moins aussi importants.

1947 L'invention du transistor à pointes en Amérique en décembre 1947 et sa révélation publique - après dépôt des brevets - le 30 juin 1948 font partie de l'histoire bien connue de l'électronique. Mais il est moins connu qu'en France, au même moment, nous étions de manière indépendante quasiment au même point.

Le **13 août 1948**, les docteurs Herbert F. Mataré et Heinrich J. Welker déposent en France un brevet pour leur « **Transistron** », suite à leurs travaux pour le compte de la Compagnie des Freins et Signaux Westinghouse. Ces travaux ont été financés dans le cadre d'un second contrat par le ministère *des P.T.T. qui recherchait le moyen de remplacer les amplificateurs relais à tubes dans les liaisons téléphoniques*, beaucoup trop gourmands en énergie.



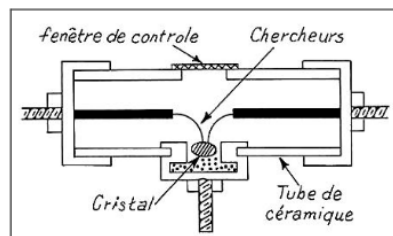
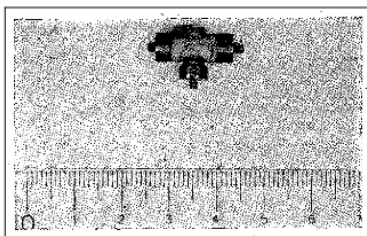
Le « Transistron » n'est rien moins que la version européenne du transistor à pointes dont le nom a été subtilement changé par René Sueur pour se démarquer du vocable américain transistor. La photo ci-contre montre la première réalisation en juin 1948 selon le docteur Mataré (donc un peu avant l'annonce officielle US du 30 juin 1948).

First European transistor constructed in June, 1948 at the Semiconductor Laboratory of P & S Westinghouse in Paris, France by H. F. Mataré

Premier transistor européen construit en juin 1948 au laboratoire de la Compagnie des Freins et Signaux Westinghouse, Paris, par les docteurs H.F. Mataré et H. Welker (source Deutsches Museum)
Noter la similitude avec le type A de Bel

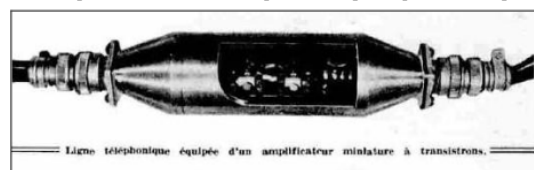
Cette invention « française » (on devrait dire franco-allemande car les travaux des 2 chercheurs allemands ont commencé en Allemagne avant et pendant la guerre 39-45) sera rendue publique le **18 mai 1949** – soit quatre jours après la visite des Bell Labs - et sera qualifiée par les autorités à juste titre de « brillante réalisation de la recherche française ». L'information était classée secret défense avant cette date.

C'est donc par la voie des quotidiens que la nouvelle est diffusée. Ils montrent la photo du Secrétaire d'Etat aux P.T.T., M. Eugène Thomas, tenant dans sa main une lampe et le nouveau Transistron



Le Transistron montré en comparaison avec une lampe PTT de la S.I.F. Photos du Transistron 1949 avec une règle pour l'échelle (source Patrice Zeissloff). Vue en coupe du Transistron 1949.

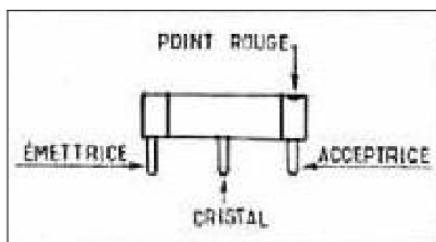
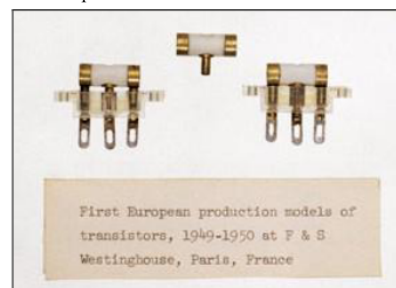
A cette présentation publique du « **Transistron triode type P.T.T. 601** » seront montrés quelques appareils équipés de ce nouvel amplificateur « solide » : un poste récepteur radio, un poste émetteur, et des répéteurs téléphoniques. Voici la photo d'un **répéteur téléphonique** :



Répéteur auto-alimenté à 2 Transistrons (source Patrice Zeissloff)

Malgré les conditions difficiles dues à l'après-guerre, une production en quantité limitée est obtenue début 1949 et livrée aux services commanditaires des P.T.T. Le premier objectif industriel est d'équiper la **ligne téléphonique Paris-Limoges de répéteurs à Transistrons**.

Voici une photo de cette version industrielle de 1949-50 :



Ligne par ligne, les anciennes lignes pupinisées seront remplacées par des répéteurs électroniques.

Réseau de lignes à grande distance par câbles (les câbles coaxiaux)

Pendant la guerre, surtout en 1944, le réseau interurbain subit des dégâts importants. A la Libération, on comptait 2 000 coupures et, sur 130 centres principaux, 45 étaient entièrement détruits ou avaient leur gros œuvre fortement endommagé ; les 85 autres avaient également subi des dégâts.

Au début de cette période et jusqu'en 1948, la tâche du **Service des lignes à grande distance** consista essentiellement à remettre en l'état l'ensemble du réseau. En ce qui concerne les câbles, il fallait rétablir leur continuité, reprendre leur « équilibrage » pour permettre la reprise de l'exploitation du réseau câblé.

Grâce au dévouement du personnel et à l'organisation méthodique des travaux, cinq mois après la libération de Paris, 90 % des circuits de 1939 étaient rétablis, mais la longueur totale de ces circuits ne représentait encore que 60 % de celle d'avant-guerre.

Mais l'événement le plus marquant de cette époque fut la mise en service du premier câble coaxial du réseau français. C'est à la veille de la guerre qu'avait été entreprise la pose d'un câble coaxial de gros diamètre (5/18 mm), prévu pour 600 voies téléphoniques, sur l'itinéraire Paris – Toulouse – Bordeaux. Mais les hostilités entraînèrent l'arrêt des travaux ; ce n'est qu'en 1947 que la première liaison Paris – Toulouse par câble coaxial sera effectivement mise en service.

En fait, c'est seulement à partir de 1950 que l'administration française s'engagera résolument dans le développement des artères à grande distance par câbles coaxiaux. Le premier câble coaxial, conforme aux nouvelles recommandations du CCITT sera posé entre Lyon et Grenoble. A partir du second semestre de l'année 1954, le rythme des travaux s'accroît et le réseau français de câbles coaxiaux se développe très rapidement jusqu'en 1955, grâce aux programmes d'infrastructure financés par l'OTAN. Au cours de l'année 1954, on posera 1400 kilomètres de câbles ; mais il faudra attendre près de 20 ans (1972) pour retrouver cette cadence.

L'utilisation généralisée des câbles coaxiaux pour les liaisons à grande distance constitue, dans le domaine de la transmission, l'événement le plus important de cette période d'après-guerre.

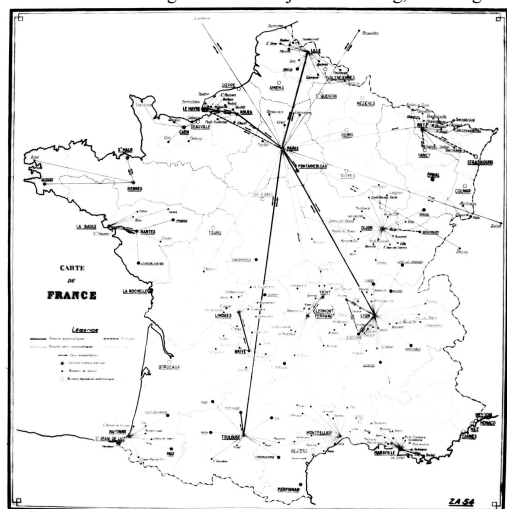
Réseau de liaisons à grande distance par ondes radioélectriques (faisceaux hertziens)

En France, malgré la guerre et l'occupation, les chercheurs ne restèrent pas inactifs : ainsi, des études entreprises au Laboratoire Central des Télécommunications conduisirent à

la réalisation, dès 1944, d'un équipement de faisceau hertzien tout à fait remarquable pour l'époque. Une liaison expérimentale fut établie par le Service des recherches et du contrôle technique des PTT entre Paris et Montmorency.

Une première liaison par faisceau hertzien est mise en exploitation, en 1947, entre Calenzana, en Corse, et Grasse, sur la Côte d'Azur. A cause de la grande distance à couvrir (plus de 200 kilomètres) et d'une zone de non visibilité importante à franchir (50 kilomètres), les longueurs d'onde utilisées étaient relativement longues, de l'ordre de 3 mètres.

Une liaison plus importante est mise en service, entre Dijon et Strasbourg, à la fin de l'année 1951. Cette liaison comportait quatre stations : une station terminale au N Afrique, près de Dijon, deux stations relais, l'une à Montfaucon près de Besançon, l'autre au sommet du Grand Ballon de Guebwiller, à 1400 mètres d'altitude, et une terminale à Strasbourg. La liaison Dijon-Strasbourg, fut inaugurée officiellement le 23 février 1952 ...



Liaisons Interurbaines Automatiques en service (en gras) en 1954

La SAT-SAGEM

L'usine Grammont.

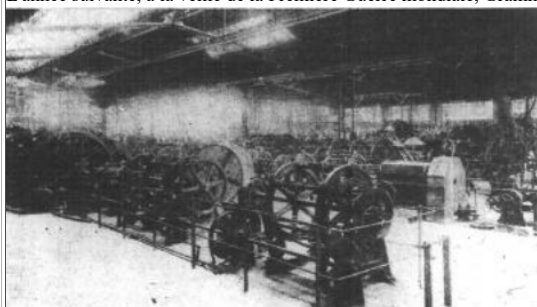


L'histoire de SAT-SAGEM commence en 1849 lorsque Claude Etienne Grammont quitte l'entreprise Gindre-Chavany, fabricant de fils pour tissus cousus, dont il était contremaître. Grammont fonde son entreprise de filature "La Grammonnière" en 1870.

Alexandre Grammont, fils du fondateur, ancien élève de l'Ecole Centrale, dirige les activités de l'entreprise vers le tréfilage de câbles en cuivre et de moteurs électriques. En 1881, l'entreprise employait 143 personnes.

En 1891, Alexandre Grammont décide de se lancer dans la fabrication de câbles télégraphiques, téléphoniques et énergétiques et déménage bientôt l'usine à Saint-Tropez où une usine de 7200 mètres carrés devient opérationnelle en 1892.

En 1898, la Compagnie des Signaux est fondée à Riom. Alors que les commandes commençaient à baisser en 1906, du fait de la densité du réseau télégraphique, Grammont rencontra des difficultés. De plus, l'entreprise ne possédait pas de câblage contrairement à la concurrence. En 1913, l'usine de câbles de Saint-Tropez est mise en veilleuse. L'année suivante, à la veille de la Première Guerre mondiale, Grammont employait 2 150 personnes.



Une usine de câbles de la Compagnie des Signaux.

Pendant la Première Guerre mondiale, Grammont s'implique dans la production industrielle nécessaire à la guerre, produisant des obus dans son usine de Pont Chéry. Entre temps (1915) Grammont se lance dans la fabrication de lampes d'amplification pour émetteurs radio et s'adresse après la guerre au domaine des équipements d'amplification des lignes téléphoniques sur de longues distances (*répétiteurs*).

1921 voit la construction de l'usine de câbles à Riom par la Compagnie des Signaux. Cette même année voit la création de la Société d'Etudes pour les Liaisons Téléphoniques (SELT), qui comprend la SIT (Société Industrielle des Téléphones), la SACM (Société Alsacienne de Constructions Mécaniques) et les entreprises de Grammont. Leur coopération s'est limitée à la recherche.

Jacques Roussel rejoint Grammont en 1923 et y reste 45 ans, devenant un pilier de la création et du conseil en gestion de la future SAT.

Après ses études à l'Institut Polytechnique de Grenoble, Myron Lebedinsky entre en 1924 à la compagnie de téléphone Grammont où il travaille à l'amplification des équipements et à la terminaison des câbles.

Entre 1925 et 1927, les câbles fabriqués par SELT sont de mauvaise qualité technique, avec beaucoup de déchets. Malgré cela, il fut décidé en 1928 de tenter une dernière tentative avec SELT. Un câble a dû être réalisé pour la liaison Angoulême-Limoges (102 km). Grâce à de nouvelles connaissances et à une bonne gestion du projet, l'ensemble du câble fut fabriqué le 17 novembre 1928. Une chaîne française de câbles longue distance était née, un événement qui fut le document fondateur de la SAT.



L'usine de Montluçon dans les années 1940.

En 1931, suite au succès de Grammont, les PTT décident de prendre le contrôle de deux câbles : Le Mans-Rennes et Le Mans-Angers. Mais ils ont exigé que la production soit soutenue par l'équipe qui avait réussi sur le dernier câble. Un accord a été signé entre Grammont et la Compagnie des Signaux le 9 décembre.

Le 6 février 1932 est fondée la première SAT (Société des Applications Téléphoniques), dont le premier président est Georges Bertrand, ingénieur à Grammont.

Les conséquences de la crise économique du début des années 1930 et le laxisme de la gestion financière de Grammont conduisent les PTT à promouvoir la reprise de la SAT par une société plus crédible. Voulant se diversifier, SAGEM prend le contrôle de la SAT en août 1939. Félix Verny, beau-père de Marcel Mome et Président de la SAGEM est le premier Président de la Deuxième et dernière SAT (Société Anonyme des Télécommunications).

La France déclare la guerre à l'Allemagne le 2 septembre 1939 et de nombreux hommes de la SAT sont mobilisés. Lors de la première assemblée générale de la SAT le 27 décembre 1940 Marcel Mome, président de la SAGEM devient président de la SAT. Dans la période 1942-1943, SAT a produit le système d'écoute "source K" pour capter les communications de l'occupant à partir des câbles français. A la demande des PTT, une grande partie du matériel produit est cachée dans 42 fermes autour de Montluçon dans la période 1942-1944 et particulièrement au moulin d'Allorant à Sainte-Sévère-sur-Indre. En 1942, Paul Gellois devient président de la SAT. André Hardy est président-directeur général et Léon Parcé administrateur.

Dans la nuit du 14 au 15 septembre 1943, le hall 9 de Montluçon, qui abritait la SAT, est détruit par les bombardements alliés visant l'usine Dunlop. Les alliés débarquent en Normandie le 6 juin 1944 et le 25 août Montluçon est libérée (et Paris le lendemain aussi). En septembre, le personnel de la SAT revient à Paris, mais Montluçon reste leur principal atelier de fabrication. L'effectif de la SAT compte environ 200 personnes en 1945.

Durant la période 1949-1951, la situation économique générale est difficile. L'horaire de travail est réduit de 45 à 40 heures. En 1951, une importante commande d'exportation ramène l'horaire à 45 heures.



La première version du Minilir.

La SAT intègre les ateliers de Jean Turck en 1956. C'est le début d'une diversification des activités vers le domaine de la détection et des équipements infrarouges pour les industries de défense. Jean Turck arrive avec 120 personnes dont Pierre Lamelot, Roger Bouchard et René Bertelet qui deviennent directeurs. Le personnel de la SAT a atteint 800 personnes.

Le transistor arrive à maturité en 1958 et est utilisé dans l'équipement à la place des lampes amplificatrices habituelles. En 1960, la recherche du premier chercheur infrarouge, l'AD530, a commencé ainsi que la recherche du système de télémétrie AJAX. Le centre d'essais en vol choisit SAT comme maître d'œuvre du système de télémétrie AJAX en 1961, essentiellement destiné au développement de lanceurs militaires.

En 1962, le premier modem a été fabriqué avec des vitesses de 1 200 bit/s. 1963 voit le début des recherches sur l'analyseur infrarouge monoligne.

Les premiers AD530 furent fabriqués en 1964, dont 1500 exemplaires furent livrés entre 1964 et 1979 et entre temps la recherche d'un nouvel autodirecteur infrarouge, l'AD550 (qui deviendra le MAGIC 1), fut lancée en 1965.

Le système de télémétrie numérique proposé par la SAT pour le satellite européen ESRO 1 a été sélectionné par l'ESRO (devenue l'ESA). SAT a fourni l'encodeur et les émetteurs intégrés (Sud Aviation) et enregistreur (LOCKHEED).

Les premières recherches sur un multidétecteur infrarouge ont débuté en 1971. Ils ont d'abord réussi à créer des bandes, puis des matrices, basées sur leur propre technologie ou inspirées de celles mises en œuvre dans la technologie du silicium. Ces recherches permettraient d'aboutir à des capteurs performants, notamment pour l'imagerie infrarouge. En 1972, il en résulte le Minilir, un théodolite capable de suivre n'importe quelle source infrarouge mobile.²

Le chiffre d'affaires atteint 979 millions de francs en 1974, soit une augmentation de 170 % par rapport à 1969 à prix constants.¹ L'effectif atteint désormais 6 000 personnes. L'essor de l'activité conduit à la construction en 1979 de La Chaume, comprenant un laboratoire infrarouge. Michel Comte Blache est nommé directeur de l'établissement de Dourdan. La fabrication des détecteurs PbS et InSb ainsi que l'atelier optique ont été transférés à Poitiers.

En 1978, les revenus générés par l'activité infrarouge atteignaient 300 millions de francs, soit près de 20 % du chiffre d'affaires de la SAT. L'année suivante, les recherches sur le chercheur infrarouge MISTRAL ont commencé. En 1982, une coopération tripartite (France, Allemagne, Grande-Bretagne) démarre dans le domaine de la détection et du guidage infrarouge. Il a fallu 3 ans pour commencer et 15 ans pour terminer !

...

A la demande de la Délégation générale à l'armement (DGA) en 1984, la SAT et Thomson sont « invités » à réunir, dans une entreprise commune, l'ensemble des compétences françaises dans le domaine de la technologie des composants infrarouges. La SAT a perdu une grande partie des investissements qu'elle avait réalisés depuis près de 40 ans avec les établissements Turck dans ce secteur stratégique. Cette année, pour la première fois, la SAT perd 45 millions de francs, alors que la prévision pour 1985 était de 227 millions de francs.

La production de 4000 exemplaires de l'autodirecteur MAGIC 2 dans les usines de Poitiers et Montluçon démarre en 1985, tandis qu'à Poitiers démarre la fabrication d'équipements infrarouges pour la marine (le Vampir, le PIRANA et le SEID).

En 1987, SAT remporte un contrat pour la fourniture de la caméra thermique haute performance ATHOS pour le char LECLERC. 30 caméras étaient produites mensuellement par l'usine de Poitiers.

En 1988, la SAT est réorganisée en trois divisions : la Division Télécommunications (DTEL), la Division Communications d'Entreprise (DCE) et la Division Optronique et Défense (DOD).

La production d'un nouvel autodirecteur infrarouge, le MISTRAL, démarre en 1988. 15 000 exemplaires sont fabriqués à raison de 2 000 par an. L'année suivante, des recherches préliminaires ont été effectuées pour un nouveau chercheur IR bispectral pour le missile MICA.

En 1996 le DOD fusionne avec la Division de Navigation et de Défense de SAGEM pour devenir une nouvelle Division de SAGEM : Défense et Sécurité. C'est la fin des

activités infrarouges à la SAT qu'ils ont exercées pendant près de 40 ans (et 60 ans si l'on inclut la société Turck). Le personnel du DOD est dispersé entre les différents établissements de la SAGEM.

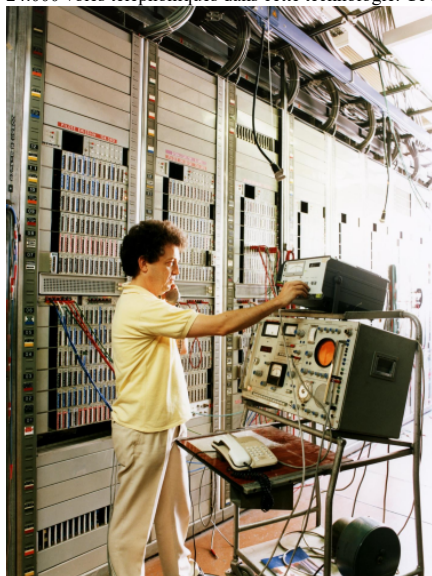
Bien que le résultat de SAT ait augmenté en pourcentage du chiffre d'affaires (6%) et en francs en 1998, lors des assemblées générales de SAGEM et de SAT tenues le 19 mai de la même année, il a été décidé de fusionner par absorption la SAT dans SAGEM. La décision est entrée en vigueur le 1er janvier 1998. La deuxième SAT a vécu un peu moins de 57 ans, alors que cela faisait 128 ans depuis le début de l'activité de Grammont dans le domaine des câbles.

Avec l'évolution des matériels, les types de liaisons ont été normalisés :

- Le Groupe Primaire (GP) a été normalisé en regroupant 12 voies téléphoniques, modulées par 12 ondes porteuses différentes par 12 circuits, sur une bande de fréquences large de 48 kHz. (de 60 kHz à 108 kHz).
- Le Groupe Secondaire (GS) a été normalisé en regroupant 60 voies téléphoniques, en regroupant 5 Groupes Primaires (GP), modulés par 5 ondes porteuses différentes, par 5 circuits, sur une bande de fréquences large de 240 kHz. (de 312 kHz à 552 kHz).
- Le Groupe Tertiaire (GT) a été normalisé en regroupant 300 voies téléphoniques, en regroupant 5 Groupes Secondaires (GS), modulés par 5 ondes porteuses différentes, par 5 circuits, sur une bande de fréquences large de 1,232 MHz. (de 812 kHz à 2,044 MHz).
- Le Groupe Quaternaire (GQ) a été normalisé en regroupant 900 voies téléphoniques, en regroupant 3 Groupes Tertiaires (GT), modulés par 3 ondes porteuses différentes, par 3 circuits, sur une bande de fréquences large de 3,872 MHz. (de 8,516 MHz à 12,388 MHz).
- Au 1er janvier 1970, la France compte en service 4705 Groupes Primaires (GP) de 12 voies téléphoniques à courants porteurs.
- Le 10.000ème Groupe Primaire (GP) de 12 voies téléphoniques à courants porteurs est mis en service le 10 février 1973.
- Le 20.000ème Groupe Primaire (GP) de 12 voies téléphoniques à courants porteurs est mis en service en France, entre Paris et Bordeaux, via un [faisceau hertzien](#) de 1.800 voies, le 2 juin 1975.

Après les tous débuts des premiers câbles mis en service en France dans les années 1926-33 avec leurs premiers équipements de multiplexage analogique à courants porteurs évoqués plus-haut, qui marquent les débuts de l'exploitation interurbaine et internationale moderne, les principaux matériels d'amplification ultérieurs, modulation-démodulation, amplification et transmission ont été les suivants, notamment déployés à Paris-Interurbain-Archives.

- Matériels Type 1934 de la LTT, technologie à tubes électroniques à effet thermoïonique,
- Matériels Type 1937 de la LTT, technologie à tubes électroniques, en complément du Matériel Type 1934.
- Matériels Type 1944, technologie à tubes électroniques, déployés dans l'immédiate après guerre en débutant sur les liaisons Paris-Lyon. Ce matériel a été utilisé jusques en Juin 1978 et définitivement réformé en 1980.
- Matériels Type 1951L déployés à partir de 1953 à Paris Inter Archives, technologie à tubes électroniques miniaturisés, en remplacement des Matériels Types 1934 et 1937. Ce matériel a été réformé vers 1982.
- Matériels Type TASI importé des USA, mis en service en 1960 à Paris Inter Archives, permettant de doubler le nombre de voies entrantes sur les premiers câbles internationaux (alors de petite capacité) puis les premières liaisons internationales par satellite. Ce matériel a été progressivement supplanté jusqu'en 1982 par l'arrivée des technologies de Transmission Numérique.
- Matériels Type 1960B et C à transistors, déployés à Paris Inter Archives et à Paris Saint-Amand à partir de 1963, permettant de compléter puis remplacer très progressivement les anciennes installations à tubes électroniques. Ces matériels sont plus stables et plus fiables que les systèmes à tubes. Ce matériel a été réformé dans le courant des années 1990 au profit des technologies de Transmission Numérique.
- Matériels Type 1960K déployé au début de l'année 1969 à Paris Inter Archives, technologie à transistors, étant l'ultime modernisation des Matériels Types 1960. Par exemple, à Paris Inter Archives, 216 Groupes Primaires en Type 1960K ont été installés, soit 2592 voies téléphoniques simultanées. Ce matériel a été réformé dans le courant des années 1990 au profit des technologies de Transmission Numérique.
- Matériels Type 1970 déployé à partir de Juin 1970 durant toutes les années septante. L'on comptera sur le site de Paris Inter Archives environ 2.000 Groupes Primaires, soit 24.000 voies téléphoniques dans cette technologie. Ce matériel a été réformé dans le courant des années 1990 au profit des technologies de Transmission Numérique.



Multiplexeurs Analogiques - Type 1970

Les différents supports de liaisons à courants porteurs :

Les liaisons normalisées, au fur et à mesure des innovations technologiques, sont réalisées par regroupements de groupements de base normalisés sur différents supports.

- **Câbles souterrains** à paires symétriques par liaisons 4 fils : Pour chaque quart symétrique au choix, par 12, 24, 36, 60 ou 120 voies téléphoniques maximum, par formation à partir de Groupes Primaires (GP) et/ou Groupes Secondaires (GS).
- Câbles souterrains à paires symétriques par liaisons 2 fils : Pour chaque paire symétrique à 2 fils, au choix, de 12 à 300 voies téléphoniques maximum, par formation à partir de Groupes Primaires (GP) et/ou Groupes Secondaires (GS).
- Câbles souterrains à paires coaxiales : Pour chaque paire coaxiale, au choix, de 120 à 10.800 voies téléphoniques maximum, par formation à partir de Groupes Secondaires (GS), Groupes Tertiaires (GT) et/ou Groupes Quaternaires (GQ). (en général l'utilisation des câbles coaxiaux débute au minimum pour 300 voies). Elles sont désignées par la fréquence supérieure limite du spectre transmis : 1,3 MHz (300 voies téléphoniques), 4 MHz (960 voies téléphoniques), 6 MHz (1.200 voies téléphoniques), 12 MHz (2.700 voies téléphoniques)... Jusqu'à 60 MHz maximum (soit pour un maximum de 10.800 voies téléphoniques).

Faisceaux Hertiens :

Le service LGD (lignes à grande distance) est créé à l'apparition de l'herzien.

La mission était de mailler le territoire national pour assurer l'acheminement des communications et des réseaux spécialisés entre les centraux téléphoniques interurbains, les centres de transit régionaux et les points de connexion internationaux.

Au début, la Direction des LGD, s'appuyait essentiellement sur deux types de centres, les centres d'amplification, là où il fallait amplifier, devenu par la suite, les centres d'exploitation du réseau national, et les centres de câble aux endroits les mieux placés pour assurer la maintenance et la réparation des câbles.

En matière de transmission, la différenciation technique entre les LGD et les directions régionales a longtemps porté sur les infrastructures : les LGD s'occupant des câbles à quartes et coaxiaux, puis des liaisons hertziennes, et des systèmes de transmission adaptés à ces infrastructures, alors que les Directions Régionales (DR) n'avaient comme support de transmission que l'aérien et les câbles à paires pour desservir les abonnés. Le seul système de transmission qu'elles maîtrisaient, était le système à courants porteurs 6 voies, conçu spécialement pour l'aérien.

Tout cela évolua peu à peu. C'est ainsi que dans le domaine organisationnel, les LGD devinrent TRN et sa direction la DTRN. Elle était implantée historiquement, rue Commandant Mouchotte à Paris, elle fut décentralisée dans la zone aéroportuaire de Toulouse-Blagnac à la fin des années 70. Puis furent créées, en relais entre la Direction des Centres, les Directions Opérationnelles des Télécommunications du Réseau National (DOTRN). Les Centres d'exploitation du Réseau National situés dans les chefs-lieux de région prirent le nom de CPRN et animaient les autres centres d'exploitation du réseau national situés dans leur région (CERN) ainsi que le centre hertzien (CHRN).

Cette logique de métier, transmetteur, évolua en 1986, vers une vision réseau, avec l'intégration au sein de la DTRN des centres de de commutation interurbain. Ainsi, les CPE de transit des DR furent intégrés à la DTRN pour devenir des centres de transit interurbains (CTRI).

[Une page sur le Hertzien est disponible sur le site.](#)

Pour chaque faisceau hertzien, la capacité varie entre 120, 300, 600, 1200, 1800 et 2.700 voies téléphoniques maximum, par formation à partir de Groupes Secondaires (GS), Groupes Tertiaires (GT) et/ou Groupes Quaternaires (GQ). Les liaisons hertziennes sont désignées par la bande de fréquences d'ondes radio utilisée : bande des 6 GHz, 7 GHz...

Câbles sous-marins

[Voir la page en lien.](#)

- Câbles internationaux :

La distorsion est un problème particulier pour les câbles de communication sous-marins, en partie parce que leur grande longueur permet à la distorsion de s'accumuler, mais aussi parce qu'ils sont plus sensibles à la distorsion que les fils ouverts sur les poteaux en raison des caractéristiques du matériau isolant. Les différentes longueurs d'onde du signal se déplacent à des vitesses différentes dans le matériau, ce qui entraîne une dispersion. C'est ce problème sur le premier câble télégraphique transatlantique qui a motivé Heaviside à étudier le problème et à trouver la solution. Les bobines de charge résolvent le problème de dispersion, et la première utilisation de celles-ci sur un câble sous-marin a été faite en 1906 par Siemens & Halske dans un câble traversant le lac de Constance.

L'utilisation de bobines de charge avec des câbles sous-marins lourds pose un certain nombre de problèmes. Le renflement des bobines de chargement ne pouvait pas facilement passer à travers l'appareil de pose des câblers et le navire devait ralentir pendant la pose d'une bobine de chargement³⁶. Les discontinuités à l'endroit où les bobines étaient installées provoquaient des tensions dans le câble pendant la pose. Si l'on n'y prend pas garde, le câble risque de se rompre et d'être difficile à réparer. Un autre problème était que la science des matériaux de l'époque avait des difficultés à sceller la jonction entre la bobine et le câble contre la pénétration de l'eau de mer. Le chargement continu a été développé pour surmonter ces problèmes, ce qui présente également l'avantage de ne pas avoir de fréquence de coupure.

- **Câble en permalloy** : "Câble de télégraphie" ou "câble de téléphonie" sous-marin enveloppé d'une bande permalloy.

Même si le câble de Krarup ajoutait une inductance à la ligne, celle-ci était insuffisante pour satisfaire la condition de Heaviside. AT&T a cherché un meilleur matériau avec une perméabilité magnétique plus élevée. En 1914, Gustav Elmen découvre le permalloy, un alliage magnétique de nickel et de fer recuit. Vers 1915, Oliver E. Buckley, Harold D. Arnold (en) et Elmen, tous travaillant aux Laboratoires Bell, améliorèrent considérablement les vitesses de transmission en suggérant une méthode de construction de câbles de communication sous-marins utilisant un ruban de permalloy enroulé autour des conducteurs en cuivre.

Le câble a été testé aux Bermudes en 1923. Le premier câble en permalloy mis en service reliait New York et Horta (Açores) en septembre 1924.

Le câble en permalloy a permis d'augmenter la vitesse de signalisation sur les câbles télégraphiques sous-marins à 400 mots/min à une époque où 40 mots/min était considéré comme bon³⁹. Le premier câble transatlantique n'a atteint que deux mots/min.

- Câble métallique en mu-métal

Le mu-métal a des propriétés magnétiques similaires à celles du permalloy, mais l'ajout de cuivre à l'alliage augmente la ductilité et permet au métal d'être étiré en fil. Le câble en mu-métal est plus facile à construire que le câble en permalliage, le mu-métal étant enroulé autour du conducteur central en cuivre de la même manière que le fil de fer dans le câble de Krarup. Un autre avantage du câble en mu-métal est que sa construction se prête à un profil de charge variable, la charge s'amenuisant vers les extrémités.

Le mu-métal a été inventé en 1923 par la Telegraph Construction and Maintenance Company (en), Londres, qui a fabriqué le câble, dans un premier temps, pour la Western Union Telegraph Co. La Western Union était en concurrence avec AT&T et la Western Electric Company qui utilisaient le permalloy. Le brevet pour le permalloy était détenu par Western Electric, ce qui empêchait Western Union de l'utiliser.

Le câble chargé n'est plus une technologie utile pour les câbles de communication sous-marins, ayant d'abord été supplanté par le câble coaxial utilisant des répéteurs en ligne alimentés électriquement, puis par le câble à fibre optique. La fabrication de câbles chargés a décliné dans les années 1930 et a été supplantée par d'autres technologies après la Seconde Guerre mondiale. On trouve encore aujourd'hui des bobines de charge dans certaines lignes téléphoniques terrestres, mais les nouvelles installations utilisent une technologie plus moderne.

En Multiplexage Analogique, la largeur de bande allouée à chaque voie téléphonique est réduite à seulement 3 kHz (au lieu des 4 kHz habituels des liaisons interurbaines ou internationales terrestres ou hertziennes). Ceci permet de passer plus de communications téléphoniques simultanées sur le même câble sous-marins, au prix d'une sensible perte de qualité téléphonométrique.

Ainsi, dans les premières années d'exploitation des câbles sous-marins, la largeur de bande était initialement de 4 kHz. Quelques années plus tard, les équipements d'extrémités ont été changés, pour passer à une largeur de bande de 3 kHz afin d'augmenter le nombre de voies.

Par convention, les Groupes Primaires (GP) portent 16 voies téléphoniques et les Groupes Secondaires (GS) portent 80 voies téléphoniques, en norme « sous-marine ». Leur capacité s'étendant jusqu'à plusieurs milliers de voies téléphoniques simultanées.

Câbles Coaxiaux souterrains.

Expérimentation coaxiale : En 1939, juste avant la déclaration de guerre, les premiers câbles coaxiaux furent déployés à titre expérimental entre Paris et Vierzon et Vierzon et Limoges et exploités initialement en Basse Fréquence, puis, une fois convertis après la guerre au multiplexage analogique, permirent à l'aide d'amplificateurs à tubes électroniques disposés tous les 9 km d'atteindre une bande passante utile de 4 MHz, et qui permettait de ce fait de transporter 960 voies de conversations téléphoniques sur le même câble, par Multiplexage Analogique lorsque le Multiplexage Analogique fut mis ultérieurement en service. Ces deux câbles sont fabriqués par la société LTT. Il faut attendre le 29 juillet 1947 pour qu'un second câble coaxial soit mis en service en France : Paris - Toulouse. Il s'agira du premier câble coaxial multiplexé mis en service régulier dans notre pays.

C'est grâce à cette technologie de Câbles Coaxiaux que le téléphone interurbain a pu être multiplié, grandement accru à partir du début des années 1950 sur tout le territoire national.

Premier câble coaxial mis en service en France : Paris - Toulouse.

Concernant l'histoire du câble coaxial Paris-Toulouse :

Ce câble coaxial est conçu dès 1937, mais sa construction et sa mise en service sont stoppées nettes par la seconde guerre mondiale,

Le projet redémarre en Mars 1946 sous l'impulsion de Pierre Marzin alors Directeur du SRCT,

De Mars à Août 1946, les études et expérimentations en laboratoire sont entreprises,

D'Août 1946 à Décembre 1946, une expérimentation entre Paris et Vierzon en multiplexage analogique a lieu,

De Décembre 1946 à Février 1947, le choix des matériels et de leurs caractéristiques techniques sont arrêtés et transmis, aux fins de productions, à l'industrie privée,

De Février à Mai 1947, le matériel est fabriqué puis livré,

La pose du câble et l'installation des matériels de transmissions associés se déroule entre Mai et Juillet 1947,

La mise en service effective du câble téléphonique coaxial Paris-Toulouse a lieu le 29 juillet 1947 à 16H00 en présence de M. le Ministre des PTT - Eugène Thomas, au 6 rue Saint-Amand à Paris (station-relais - Centre d'Amplification).

Concernant les caractéristiques techniques du câble coaxial Paris-Toulouse :

Le câble à une paire coaxiale possède un conducteur interne de 5 mm de diamètre et un conducteur externe (concentrique au premier) de 18 mm de diamètre. Sa longueur est de 700 km.

Chaque intervalle transportant les signaux vocaux analogiques modulés sont d'une largeur de 4 kHz.

La bande passante du câble est de 5 MHz.

Le câble et ses équipements sont prévus pour permettre la transmission simultanée de 600 voies téléphoniques (contre 15 voies simultanées avec les installations précédentes). Le câble est amplifié par 42 stations. 1 station de départ/arrivée à chaque extrémité du câble et 40 stations d'amplification intermédiaires.

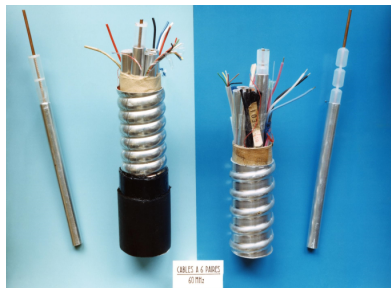
Le câble coaxial téléphonique interurbain entre Grenoble et Lyon. est un câble coaxial à 4 paires, de 2.400 voies simultanées en tout, faisant partie de la rocade Lyon - Roanne - Saint-Étienne - Grenoble destinée à acheminer les communications interurbaines automatiques à l'intérieur de cette zone, ainsi que celles provenant de Paris via Lyon à du 30 novembre 1951.

Second câble coaxial mis en service en France : Dijon - Nancy.

Le 5 avril 1952 est inauguré le câble coaxial Dijon - Nancy par M. le Ministre des PTT - Roger Duchet en présence de M. le Directeur du SRCT - Pierre Marzin. Cette seconde liaison coaxiale permet la transmission simultanées de 960 voies téléphoniques, sur une distance de 281 km.

Premier câble coaxial avec Répéteurs à Transistors : Paris - Bordeaux.

En Octobre 1952 l'artère coaxiale Paris - Bordeaux est mise en service, équipée de 6 répéteurs-régénérateurs à transistors.



Câbles Coaxiaux pour Transmission Analogique de 60 MHz.

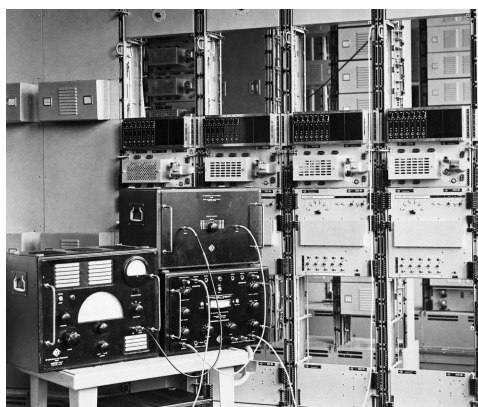
- Avec l'arrivée du transistor inventé en 1948, les amplificateurs et les modulateurs analogiques (les multiplexeurs) se miniaturisèrent, devinrent plus fiables et moins coûteux, si bien qu'ils furent désormais disposés tous les 4,5 km, ce qui permit d'atteindre une bande passante exploitable de 12 MHz, soit 2.700 voies à la fin des années 1950. En combinant des câbles coaxiaux entre eux, en les regroupant nous pouvions multiplier le nombres de voies de conversations téléphoniques analogiques...

- Le Multiplexage Analogique permettait une qualité de service très-élevée, allant de 12 voies en paires symétriques (fréquence supérieure jusque 60 kHz) jusqu'à 10.800 voies téléphoniques sur un même câble coaxial (fréquence supérieure jusque 60 MHz), qui perdura jusques à la fin de l'année 1997. Cette technologie analogique fut donc exploitée jusqu'à son maximum, en employant des câbles métalliques coaxiaux, si bien que jusque vers la fin des années 1950 la plupart des ingénieurs des télécommunications ne juraient que par le coaxial qui permettait de multiplier les voies téléphoniques en utilisant le spectre de fréquences disponibles.

Inauguration du premier câble coaxial interurbain, dans les murs du Centre d'Amplification PTT de Paris Saint-Amand, le 29 juillet 1947 :



Au premier plan, de g-à-d : M. le Directeur Général des Télécommunications - Charles Lange et M. le Ministre des PTT - Eugène Thomas au téléphone avec Toulouse.



1950 Station relais de Sant Amand.

Câbles Coaxiaux sous-marins.

Le Service des Câbles Sous-Marins français est créé le 15 octobre 1912 par décret. C'est à partir de cette date que la France va commencer à se doter d'une flotte de navires câbliers, mais devra pendant une bonne vingtaine d'années faire appel régulièrement à la flotte câblière de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, nettement plus développée.

Les premiers câbles téléphoniques sous-marin entre la France et un autre pays sont posés entre la Grande-Bretagne et la France, d'une portée maximale comprise entre 1 000 et 1 500 km.

Les systèmes de transmissions multiplex

Un autre fait, au moins aussi important en terme de transmission, est l'apparition d'un nouveau procédé de groupement, ou « multiplexage », des voies sur une même artère. Ce nouveau procédé est basé, non plus sur la répartition des communications dans l'échelle des fréquences, comme dans les systèmes à courants porteurs, mais sur leur répartition dans le temps. On a donc affaire à un système « temporel ».

C'est à la veille de la Seconde Guerre mondiale que les questions de modulation par impulsions et de multiplexage dans le temps commencent à faire l'objet d'études théoriques et de réalisations expérimentales. Différents systèmes furent réalisés à l'époque par l'industrie française. C'est le progrès de l'électronique qui permettra aux systèmes de multiplexage dans le temps, couramment appelés « systèmes Multiplex » de prendre leur véritable essor au début des années 60.

Ce sera dans le domaine des liaisons à courte distance que seront utilisés en premier ces nouveaux systèmes multiplex. Un problème se posait en effet dans les grandes agglomérations urbaines, celui de la saturation des câbles entre centraux. Afin d'éviter l'installation de nouveaux câbles et surtout celle de nouvelles canalisations dans les rues, il fallait augmenter la capacité des artères existantes. La « modulation par impulsions et codage » (MIC), c'est-à-dire le codage numérique de l'information sous forme binaire (« 0 » ou « 1 »), allait apporter une très bonne solution technique et économique à ce problème. En France, la première liaison multiplex expérimentale utilisant la « modulation par impulsions et codage » est mise en service en 1966 dans la région parisienne. Depuis cette date, le développement des systèmes numériques s'est poursuivi à un rythme accéléré. En 1970, le CNET installait une première liaison MIC opérationnelle en Bretagne. En 1972, plus de 200 liaisons de ce type étaient déjà en service en France et le rythme de production de ces équipements allait en s'accroissant.

En outre, des systèmes à plus grande capacité, destinés à des liaisons interurbaines, ont été étudiés et développés dès les années 1975, aux Etats-Unis, au Canada, en Europe et au Japon. Il s'agissait de systèmes utilisables sur câbles coaxiaux ou sur faisceaux hertziens. Les débits par canal étaient déjà de plusieurs centaines de mégabits par seconde.

Mais c'est sans doute en France que les techniques numériques progressèrent le plus rapidement. Le programme de « numérisation » du réseau était particulièrement avancé. La Direction Générale des Télécommunications indiquait en 1980, que la part des commandes d'équipements numériques de transmission par rapport à l'ensemble des commandes d'équipements numériques de transmission avait évolué comme suit : 30 % en 1978, 50 % en 1979, 85 % en 1980, et 100 % dès 1982.